

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2010

Bc. Pavel Svoboda

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY**

**SLEDOVÁNÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ KVALITY V
RŮZNÝCH NAPEŤOVÝCH HLADINÁCH DISTRIBUČNÍ
SOUSTAVY
MONITORING OF CHOISE QUALITY PARAMETERS IN
VARIOUS LEVELS OF DISTRIBUTION SYSTEM**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Tímto bych chtěl poděkovat za poskytnutí odborné pomoci vedoucímu své diplomové práce panu Doc. Ing. Petru Krejčímu Ph.D.

V Ostravě 6.5. 2010

podpis

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá pozorováním vybraných parametrů kvality elektrické energie na různých napěťových hladinách distribuční soustavy.

Na počátku této práce jsou blíže specifikovány obecné a garantované standardy dodávek kvality elektrické energie. Dále jsou zde popsány jednotlivé charakteristiky napětí elektrické energie, popisující kvalitu elektřiny dodávané z veřejné distribuční sítě, vycházející z normy ČSN EN 50160 a PPDS.

V následující kapitole je popsána problematika, jak je možno měřit parametry kvality elektřiny. Práce pokračuje srovnáním vybraných síťových analyzátorů dostupných na českém trhu.

Praktická část je zaměřena na samotné vyhodnocení vybraných lokalit, a porovnání kvality elektrické energie, především podle normy ČSN EN 50 160. Ke srovnání byli použiti čtyři vybrané parametry kvality elektrické energie (nesymetrie, fliker, harmonické, činitel zkreslení).

Klíčová slova

elektrická energie, kvalita napětí, kolísání napětí, fliker, kmitočet napájecího napětí, nesymetrie napětí, mezipharmonické napětí, harmonické napětí, analyzátor kvality napětí, monitoring, elektromagnetická kompatibilita, distribuční soustava;

Annotation

This thesis deals with the observation of selected quality parameters of electricity at different voltage levels of grid.

At the beginning of this work, general and guaranteed standards of quality of electricity supply are specified. It further describes the individual characteristics of electricity voltage, describing the quality of electricity supplied from public distribution network, based on standard ČSN EN 50160 and PPDS.

The next chapter describes the issue of power quality parameters measurement. Work continues by comparing the selected network analyzers available on the Czech market.

The practical part is focused on evaluation of selected localities and comparing the quality of electric power, mainly according to ČSN EN 50 160 . There were used four selected power quality parameters for comparison (asymmetry, flicker, harmonic distortion factor).

Keywords

electrical power, voltage quality, voltage fluctuation, flicker, voltage frequency, voltage asymmetry, interharmonics voltage, voltage of harmonics, voltage quality analyzer, monitoring, electromagnetic compatibility, distribution grid;

Seznam použitých symbolu a zkratek

ERU	energetický regulační úřad
ČSN	česká technická norma
CEER	rada evropských energetických regulátorů
nn	nízké napětí
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
Un	jmenovité napětí
h	řád harmonické
THD	činitel zkreslení
uh	poměr amplitudy příslušné harmonické
HDO	hromadné dálkové ovládání
n	činitel harmonické
k	celé číslo
p	počet pulzů měniče
$U(t_1)$	fázové napětí za dobu t_1
Plt	dlouhá doba vjemu flikru
PC	počítačová sestava
A	první fáze
B	druhá fáze
C	třetí fáze
PPDS	pravidla provozování distribučních soustav

Obsah

1. Úvod	- 1 -
2. Rozbor problematiky kvality elektrické energie	- 2 -
2.1. Standardy kvality dodávek elektřiny	- 2 -
2.2. Kvalita elektřiny	- 3 -
2.2.1. Charakteristiky napětí elektřiny dodávané z distribuční soustavy	- 4 -
2.3. Rušivé vlivy působící na parametry kvality napětí	- 8 -
2.3.1. Nízkofrekvenční rušení	- 9 -
2.3.2. Kolísání napětí (flickr)	- 10 -
2.3.3. Nesymetrie.....	- 11 -
2.3.1. Penalizační platby.....	- 12 -
3. Možnosti měření parametru kvality v distribučních sítích	- 14 -
3.1 Hodnocení parametrů kvality	- 14 -
3.2 Požadavky kladené na měřicí přístroje kvality elektrické energie	- 14 -
3.3 Měřicí intervaly	- 15 -
3.4 Časová agregace měření.....	- 15 -
3.5 Zkoušky přesnosti měřících přístrojů	- 16 -
3.6 Měřicí přístroje kvality elektrické energie	- 17 -
3.6.1. Systém monitoringu kvality elektřiny BK Elcom	- 17 -
3.6.2. Síťové analyzátory.....	- 18 -
3.6.2.1. Analyzátor sítí BK Elcom	- 18 -
3.6.2.2. FLUKE 434 analyzátor sítě	- 20 -
3.6.2.4. Analyzátor TOPAS 2000.....	- 21 -
4. Vyhodnocení měření zvolených parametrů kvality na různých napětových hladinách.....	- 22 -
4.1. Popis vybrané lokality a zvoleného parametru elektrické energie na hladině nn.....	- 22 -
4.2. Popis vybrané lokality a zvoleného parametru elektrické energie na hladině vn.....	- 26 -
4.3. Popis vybrané lokality a zvoleného parametru elektrické energie na hladině vvn.....	- 30 -
5. Srovnání výsledků na jednotlivých napětových hladinách.....	- 34 -
5.1. Obnovitelné zdroje připojených do vybraných částí distribuční soustavy	- 34 -
5.2. Srovnání výsledků dlouhodobé míry vjemu flickru na (nn, vn, vvn).....	- 35 -
5.3. Srovnání výsledků harmonických napětí na (nn, vn, vvn)	- 37 -
5.4. Srovnání výsledků činitele zkreslení na (nn, vn, vvn).....	- 38 -
5.5. Srovnání výsledků nesymetrie na (nn, vn, vvn)	- 39 -
Závěr.....	- 41 -
POUŽITÁ LITERATURA.....	- 43 -
INTERNETOVÉ ZDROJE	- 43 -

1. Úvod

Elektrická energie je považována za nejušlechtlejší druh z používaných energií.

Liberalizace trhu elektrické energie v České republice byla zahájena v roce 2001. Výroba, přenos a distribuce elektrické energie byla propojena a spadala pod jediný státní podnik. Procesem liberalizace se podnik rozpadl na jednotlivé části výrobu, přenos a distribuci elektrické energie.

Elektrická energie se stala zbožím volného trhu, u kterého je nutné, aby byla přesně stanovena kvalita napětí a kvalita dodávky elektrické energie. Nyní si může zákazník zvolit svého dodavatele podle svého uvážení.

V dnešní době dochází ke změně struktury spotřebitelů elektrické energie. Tyto změny se objevují jak v oblasti průmyslu tak i veřejné spotřeby a zvláště v místech, kde se ve větší míře užívá světelných spotřebičů s nelineární charakteristikou. Z těchto důvodů je evidentní, že tyto změny mají vliv na ukazatele kvality elektrické energie.

Charakteristické parametry napětí podle normy ČSN EN 50160 jsou kmitočet sítě, velikost napájecího napětí, odchylky napájecího napětí, rychlé změny napětí, krátkodobé poklesy napájecího napětí, krátká přerušení napájecího napětí, dlouhodobá přerušení napájecího napětí, dočasná přepětí síťového kmitočtu mezi živými vodiči a zemí, přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí, nesymetrie napájecího napětí, harmonické napětí, mezipharmonické napětí a úrovně napětí signálů v napájecím místě [1].

Regulace kvality dodávané elektrické energie je v působnosti národních regulačních úřadů. U nás tuto činnost vykonává (ERU) Energetický regulační úřad. Činnost v energetice je definována „energetickým zákonem“, který je blíže specifikován vyhláškou č. 540.[2].

Kvalita dodávky elektrické energie úzce souvisí s cenou elektrické energie. Zákazníci, kteří vyžadují vysokou spolehlivost dodávané elektrické energie, musí svým dodavatelům platit víc. Zákazníci připojení k distribuční síti v místě s nízkou kvalitou dodávané elektrické energie mají od svého dodavatele nižší cenu elektrické energie.

V některých zemích evropské unie jako je Itálie, Portugalsko, Španělsko, Velká Británie je již standardem, že při porušení sjednaných parametrů kvality dodávané elektrické energie je povinen dodavatel svým odběratelům za porušení stanovených parametrů platit.

V České republice je stav zatím takový, že nejsou určeny výše kompenzací za nedodržení kvality elektrické energie a ani není znám časový horizont, kdy k tomu dojde a ani podle jaké metodiky se bude postupovat.

2. Rozbor problematiky kvality elektrické energie

Současná situace v problematice kompenzací za nedodržení standardů kvality dodávky elektrické energie je přímo spojena s legislativní úpravou dané problematiky. V České republice je v platnosti „energetický zákon“ [3], který upravuje podmínky podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích. Kvalita dodávky elektrické energie patří mezi důležité legislativní prvky upravující tuto problematiku podle vyhlášky 540/2005 Sb. ze dne 31. 12. 2005 [2]. Prováděcí vyhláška [2] definuje dvě skupiny standardů:

- Garantované standardy
- Obecné standardy

Svým obsahem se vyhláška [2] příliš neliší od předešlé vyhlášky [4], která byla v platnosti do roku 2005. Rozdíl však nastal u garantovaných standardů, kde byly definovány náhradou vyplácené zákazníkům v případě nedodržení těchto standardů. Výše kompenzace je v mnoha případech stupňována podle napěťové hladiny, ke které je odběratel připojen.

Ze strany Energetického regulačního úřadu nedošlo k zavedení kompenzací za nedodržení obecných standardů. Jedním z hlavních důvodů, proč nedošlo k zavedení obecných standardů je fakt, že neexistuje žádná známá metoda pro stanovení výše finanční náhrady.

Dosáhnout v současné době na tyto kompenzace mohou pouze odběratelé velmi vysokého napětí a vysokého napětí. Výše náhrady není přesně určena Energetickým regulačním úřadem, ale závisí na dvoustranné dohodě mezi distributorem a zákazníkem.

Čím dál více zemí Evropské unie přistupuje k zavedení odškodnění za nedodržení obecných standardů kvality dodávky elektrické energie. Proto lze očekávat, že i Česká republika přistoupí na zavedení úhrad pro odběratele nízkého napětí. Sdružení evropských energetických regulátorů CEER tento přístup také doporučuje [5], [6].

Aby mohlo dojít v České republice k zavedení kompenzací za nedodržení obecných standardů kvality dodávky elektrické energie ze strany distribuční společnosti je zapotřebí velmi důkladné přípravy jak po stránce technické tak i legislativní k přípravě metodiky pomocí níž bude možné s dostatečnou přesností predikovat celkovou výši odškodnění. Díky této metodice budou moci distribuční společnosti sestavit strategii provozu, údržby a výstavby distribučních soustav tak, aby došlo k minimalizaci případných kompenzací. Naopak odběratelé mohou využít znalost celkových nákladů způsobených výpadkem dodávky elektrické energie při jednáních o pojištění pro případ zastavení výroby z důvodu výpadku dodávky elektrické energie.

2.1. Standardy kvality dodávek elektřiny

Zákonné standardy kvality dodávek elektrické energie a souvisejících služeb jsou dány Vyhláškou č.540/2005 Sb., a člení se na:

- a) **Garantované standardy** přenosu nebo distribuce elektrické energie a souvisejících služeb stanovují úroveň dodávek a služeb, která musí být dosažena v každém individuálním případě.
- b) **Obecné standardy** přenosu nebo distribuce sloužící k porovnání výkonnosti a jejího časového vývoje provozovatelů distribučních soustav a posouzení výkonnosti a jejího časového vývoje provozovatele přenosové soustavy.

Mezi nejdůležitější **garantované standardy** patří:

u kvality dodávek elektřiny:

- dodržování frekvence a napětí podle normy ČSN EN 50160 Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě
- odstranění poruchy pojistky v hlavní domovní pojistkové nebo kabelové skříní nízkého napětí po ohlášení
- obnova přenosu nebo distribuce elektřiny po poruše
- dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny
- umožnění přenosu nebo distribuce elektřiny
- sdělení podmínek pro připojení nového zákazníka
- montáž měřicího zařízení a zahájení dodávky elektřiny od okamžiku splnění podmínek připojení zákazníkem
- vyřízení reklamace na kvalitu dodávek elektřiny
- lhůty pro odstranění příčin snížené kvality dodávek
- obnovení distribuce elektřiny po přerušení distribuce elektřiny z důvodu prodlení konečného zákazníka nebo dodavatele sdružené služby s úhradou plateb za poskytnutou distribuci elektřiny

Obecné standardy kvality dodávek elektřiny a souvisejících služeb jsou:

- standard souhrnné doby přerušení dodávky elektřiny (pro provozovatele lokálních distribučních soustav)
- standard četnosti přerušení dodávky elektřiny (pro provozovatele lokálních distribučních soustav)

Tyto standardy zahrnují každé přerušení dodávky zákazníkovi s dobou trvání delší než 3 minuty, bez ohledu na to, zda příčina vzniku byla v zařízení provozovatele distribuční nebo přenosové soustavy nebo v zařízení jiného provozovatele. Za přerušení se přitom nepovažuje přerušení dodávky u zákazníka, jehož příčinou je jeho vlastní odběrné zařízení nebo elektrická přípojka v jeho vlastnictví a není přitom omezen žádný další zákazník.

Obecné standardy vyjadřují průměrné hodnoty za celou lokální distribuční soustavu.

Výše náhrady za neplnění standardů kvality dodávek elektřiny a kvality souvisejících služeb je řešena již zmíněnou vyhláškou ERU 540/2005 Sb.;

2.2. Kvalita elektřiny

Tato kapitola vychází z „ENERGETICKÉHO ZÁKONA” [2] a z vyhlášky ERU v platném znění o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice [3], které ukládají provozovatelům distribučních soustav definovat kvalitu elektřiny, stanovit její parametry a podmínky jejího dodržování uživateli. Dalším cílem je definovat způsoby možného uplatnění parametrů kvality ve smlouvách o dodávce elektřiny.

Kvalita elektřiny je definována jejími charakteristikami v daném bodě elektrizační soustavy, porovnávanými s mezními velikostmi referenčních technických parametrů.

2.2.1. Charakteristiky napětí elektřiny dodávané z distribuční soustavy

Jednotlivé charakteristiky napětí elektrické energie, popisující kvalitu elektřiny dodávané z veřejné distribuční sítě, vycházejí z normy ČSN EN 50160 pro sítě nn a vn v platném znění. Níže jsou rozebrány hodnoty pro sítě nn.

Jsou to:

- kmitočet sítě
- velikost napájecího napětí
- odchylky napájecího napětí
- rychlé změny napětí
- velikost rychlých změn napětí
- míra vjemu flikru
- krátkodobé poklesy napájecího napětí
- krátkodobá přerušení napájecího napětí
- dlouhodobá přerušení napájecího napětí
- dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí
- přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí
- nesymetrie napájecího napětí
- harmonická napětí
- mezipharmonická napětí
- úrovně napětí signálů v napájecím napětí.

2.2.1.1. Kmitočet sítě

Jmenovitý kmitočet napájecího napětí je 50 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být střední hodnota kmitočtu základní harmonické, měřená v intervalu 10 s, v následujících mezích.

- u systémů se synchronním připojením k propojenému systému

50 Hz \pm 1 %	(tj. 49,5 ... 50,5 Hz)	během 99,5 % roku
-----------------	------------------------	-------------------

50 Hz + 4 %/-6%	(tj. 47...52 Hz)	po 100 % času
-----------------	------------------	---------------

- u systémů bez synchronního připojení k propojenému systému (tj. ostrovní napájecí systémy)

50 Hz \pm 2 %	(tj. 49...51 Hz)	během 95 % týdne
-----------------	------------------	------------------

50 Hz \pm 15 %	(tj. 42,5...57,5 Hz)	po 100 % času.
------------------	----------------------	----------------

2.2.1.2. Velikost napájecího napětí

Velikost napájecího napětí je dána dohodnutým napájecím napětím U_c .

Normalizované jmenovité napětí U_n pro veřejnou síť nízkého napětí je:

- pro čtyřvodičové trojfázové soustavy

$U_n = 230$ V, mezi fázovým a středním vodičem,

- pro třívodičové trojfázové soustavy

$U_n = 230$ V mezi fázovými vodiči.

2.2.1.3. Odchyvky napájecího napětí

V sítích nízkého napětí jsou respektovány skutečnosti, že provozovatel má omezené možnosti ovlivňovat připojování nových zatížení odběratelů a skoro vůbec neřídí využívání těchto zatížení. Odchyvky napájecího napětí elektrické sítě jsou dány zapínáním a vypínáním různých spotřebičů.

Za normálních provozních podmínek musí být během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut.

Ve vzdálených oblastech s dlouhým vedením může být napětí mimo rozsah $U_n + 10\%/-15\%$, proto by měl distributor o těchto změnách informovat své zákazníky.

2.2.1.4. Rychlé změny napětí

Rychlé změny napětí jsou často důsledkem spínání zatížení a nepřesáhují velikost $+5\%$, nebo -5% jmenovitého nebo dohodnutého napětí. Toto omezení je možné proto, že připojování zatížení, která mohou vyvolávat rychlé změny napětí, obvykle podléhají směrnicím. Nicméně za určitých podmínek se mohou občas vyskytovat vyšší hodnoty až do 10% . Tyto vyšší hodnoty mohou nastat například ve venkovských oblastech na koncích dlouhých vedení pro napájení zemědělských usedlostí, kde se používají velké motory (ventilátory, čerpadla, kompresory apod.).

Rychlá změna napětí v sítích nn obvykle nepřesáhne $5\% U_n$, avšak za určitých okolností se mohou několikrát za den vyskytnout krátkodobé změny do $10\% U_n$.

Snížení napětí pod $90\% U_n$ se považuje za pokles napětí.

2.2.1.5. Míra flikru

Flikr je jev, který působí na vizuální vnímání člověka změnami světelného toku světelných zdrojů, vyvolanými rychlým kolísáním napájecího napětí. Kolísání napájecího napětí spočívá ze sledu rychlých změn napětí, následovaných dostatečně těsně po sobě tak, že stimulují odezvu oka v mozku, definovanou jako flikr.

Za normálních provozních podmínek musí být po 95% času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt} \leq 1$.

2.2.1.6. Krátkodobé poklesy napájecího napětí

Krátkodobé poklesy jsou obecně způsobeny poruchami v instalacích odběratelů nebo ve veřejné distribuční síti. Jsou to nepředvídatelné, převážně náhodné jevy. Jejich četnost se během roku mění podle typu rozvodné sítě a místa sledování.

Během roku může být očekávaný počet krátkodobých poklesů napětí od několika desítek až do jednoho tisíce. Většina krátkodobých poklesů napětí má dobu trvání kratší než 1 sekundu a hloubku poklesu menší než 60% . Občas se však mohou vyskytnout krátkodobé poklesy napětí s větší hloubkou a delší dobou trvání. V některých oblastech se mohou velmi často vyskytovat krátkodobé poklesy napětí s hloubkou poklesu mezi 10% a $15\% U_n$ jako následek spínání zatížení v instalacích odběratelů.

2.2.1.7. Krátkodobá přerušení napájecího napětí

- krátkodobá přerušení napájení (trvání ≤ 3 min);

Roční výskyt krátkodobých přerušení napájecího napětí v rozsahu od několika desítek až do několika stovek. Přibližně 70 % krátkodobých přerušení bývá kratší než 1 sekunda.

Odběratelé napájení nn jsou vystaveni jevům v sítích vn, k nimž jsou jejich napájecí sítě připojeny a jevům, které vznikají v jejich konkrétních a přilehlých sítích nn.

2.2.1.8. Dlouhodobé poklesy napájecího napětí

- dlouhodobá přerušení napájení (trvání > 3 min);

Dlouhodobé přerušení napětí je obvykle způsobeno vnějšími událostmi nebo vlivy, kterým dodavatel nemůže předcházet. Množství a doby trvání dlouhodobých přerušení není možné udat typickými hodnotami z důvodu topologie elektrických sítí a také kvůli nepředvídatelným přírodním živlům a také je potřeba vzít v úvahu vliv třetí strany.

Za běžných provozních podmínek může být roční četnost přerušení napětí delších než tři minuty menší než 10. minut, avšak v závislosti na oblasti může dosahovat až 50. minut.

2.2.1.9. Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí

Toto přepětí se obecně objevují během poruch ve veřejné distribuční síti, nebo v instalaci odběratele a zmizí, jakmile je porucha odstraněna. Mnohdy mohou zmíněná přepětí dosáhnout v důsledku posunu uzlového bodu třífázové soustavy hodnoty sdruženého napětí.

Za určitých okolností způsobí zkrat na straně vn transformátoru dočasné přepětí na straně nn, jehož doba trvání bude shodná s dobou trvání zkratového proudu. Takováto přepětí všeobecně nepřekračují 1,5 kV.

2.2.1.10. Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí

Přechodná přepětí ve většině případu nepřekračují 6 kV (vrcholová hodnota), náhodně se však vyskytují i hodnoty vyšší. Doby čela přepětí jsou velmi různé - od milisekund až po méně než mikrosekundu.

2.2.1.11. Nesymetrie napětí

Uvažujeme hodnotu pouze zpětné složky, protože tato složka je rozhodující pro možné rušení spotřebičů připojených do sítě.

Za běžných provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 % až 2 % sousledné složky. V určitých oblastech, v nichž jsou instalace odběratelů částečně připojeny jednofázově nebo dvoufázově se vyskytují v odběrných místech nesymetrie až do 3 %.

2.2.1.12. Harmonická napětí

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v následující tabulce 1. Rezonance mohou způsobit u některých harmonických vyšší napětí.

Tab. 1. Úrovně jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v (%) U_h pro řady harmonických až do 25.

liché násobky				sudé harmonické	
ne násobky 3		násobky 3			
řád harmonické h	harmonické napětí %	řád harmonické h	harmonické napětí %	řád harmonické h	harmonické napětí %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Hodnoty pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvádějí, jelikož jsou obvykle malé, avšak vlivem rezonančních účinků obtížně předvídatelné.

Mimoto celkový činitel zkreslení THD napájecího napětí (zahrnující všechny harmonické až do řádu (40) musí být menší nebo roven 8 %.

THD se určí podle následujícího vztahu:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2} \quad (1)$$

,kde u_h je poměr amplitudy příslušné harmonické (U_h) k amplitudě základní harmonické U_1 .

2.2.1.12. Meziharmonická napětí

Hladina meziharmonických napětí v současné době narůstá z důvodu používání měničů kmitočtů. Proto je tato oblast podrobně sledována. Může docházet k rušení HDO (hromadného dálkového ovládání).

2.2.1.13. Úrovně napětí signálů v napájecím napětí

I když distribuční sítě jsou přednostně určeny pro dodávku elektrické energie odběratelům, dodavatelé energie je také využívají k přenosu signálů za účelem řízení sítě, jakož i některých kategorií zátěže. Tyto sítě se nepoužívají pro přenos signálů mezi soukromými uživateli. Meze jsou v rozmezí 9% -1% U_n nosného kmitočtu signálu 0,1 -100 kHz po 99% dne.

Tab. 2. Shrnutí parametrů kvality dle ČSN EN 50 160 pro hladinu nn.

Parametry napětí v síti	Kriteria kvality
<i>Frekvence</i>	a) propojené systémy 50 Hz $\pm 1\%$ během 99,5% roku 50 Hz +4%/-6% neustále b) ostrovní systémy 50 Hz $\pm 2\%$ během 95% týdne 50 Hz $\pm 15\%$ neustále
<i>Velikost napětí</i>	$U_n = 230$ V soustavách nn
<i>Kolísání napětí kolem jmenovité hodnoty U_n</i>	- $U_n \pm 10\%$ pro 95% průměrných efektivních hodnot určených z měřicích intervalů 10 minut během každého týdne - $U_n +10\%/-15\%$ pro všechny průměrné efektivní hodnoty určené z měřicích intervalů 10 min
<i>Rychlé změny napětí do 10% U_n (velikost, míra vjemu blikání, flickr)</i>	Dlouhodobý flickr $Plt \leq 1$ ve všech 3. fázích pro 95% měření během týdne
<i>Krátkodobé poklesy napětí mezi 90% a 1% U_n (trvání 1 ms. až 1 min.)</i>	Není kritérium, pouze směrné hodnoty
<i>Krátkodobé nebo dlouhodobé výpadky napětí</i>	Není kritérium, pouze směrné hodnoty
<i>Přechodná přepětí vlivem atmosférických jevů a dočasná přepětí vlivem poruch v síti</i>	Není kritérium, pouze směrné hodnoty
<i>Velikost harmonických i mezipharmonických napětí a celkový činitel zkreslení (THD)</i>	Úrovně harmonických napětí v % U_n dle tabulkových hodnot ČSN EN 50160, $THD \leq 8\%$ pro 95% měření ve 3 fázích
<i>Nesymetrie napětí</i>	Zpětná složka napájecího napětí $\leq 2\%$ sousledné složky pro 95% středních efektivních hodnot určených z měřicích intervalů 10 minut během každého týdne
<i>Napěťové úrovně signálu v napájecím napětí</i>	V rozmezí 9% -1% U_n pro nosné kmitočty signálu 0,1 - 100 kHz po 99% dne

2.3. Rušivé vlivy působící na parametry kvality napětí

Norma ČSN EN 61000-4-1 uvádí účinky, jež ovlivňují kvalitu parametrů elektrické energie, a jsou to:

- elektromagnetické rušení
- magnetické rušení

- elektrostatické rušení
- přechodové jevy šířené vedením
- vysokofrekvenční rušení
- nízkofrekvenční rušení

Nejvíce se podílí na rušení v distribučních sítích nízkofrekvenční rušení. Zmíněné rušení má kmitočtový rozsah od 0-200 Hz.

2.3.1. Nízkofrekvenční rušení

- Harmonické frekvence – dlouhodobé a krátkodobé změny napájecího napětí až po 40. harmonickou. V normě ČSN EN 50160 jsou definované harmonické jen po 25. harmonickou viz tabulka 1. Zdrojem harmonických jsou nelineární spotřebiče např. všechny polovodičové součástky, protože spínají v různých bodech křivky napětí, dále elektrické obloukové pece, svářečky atd.
- Kolísání napětí - sled rychlých změn napájecího napětí, zapříčiněných např. zapnutím spotřebiče, nebo přepínáním odboček na transformátoru
- Meziharmonické frekvence - časově proměnná amplituda napájecího napětí. Příčinou jsou již zmínované měniče kmitočtu a obloukové pece.

2.3.1.1. Rušivé vlivy harmonických

Zdroje harmonických- osvětlovací tělesa v sítích nn s nelineární charakteristikou
elektrické obloukové pece
polovodičové měniče
transformátory
synchronní generátory
elektrická vedení

Rušivé harmonické mohou ovlivňovat- **silnoprůdová zařízení**

- přetěžováním kompenzačních baterií
- vznik parazitních momentů u motoru
- dodatečné ztráty u transformátorů
- dodatečné ztráty u elektrických strojů

ostatní zařízení

- vliv na přesnost měření elektrických veličin a spotřeby elektrické energie
- nežádoucí vliv na telekomunikace
- nepříznivý vliv na funkce ochrany v elektroenergetice

2.3.1.2. Možnosti potlačení harmonických

Spotřebiče, jenž jsou zdrojem rušivých vlivů harmonických izolujeme od ostatních spotřebičů např. napájením ze samostatných přípojníc. Další možností potlačení nežádoucích účinků jsou filtry harmonických. Zmiňované filtry, také slouží ke kompenzaci jalové složky proudu.

Druhy filtrů harmonických - aktivní
pasivní

Odstranění 3. harmonické u generátorů se provádí tak, že primární vinutí zapojíme do trojúhelníka, proudy této harmonické se tímto vinutím uzavrou.

U polovodičových měničů - nejnižší harmonická se u vícepulzních měničů určí podle vztahu (2).

$$n = k \cdot p \pm 1 \quad (2)$$

,kde n- je číslo harmonické

k-je celé číslo 1;2;...

p-je počet pulzů měniče

pro 12. pulzní zapojení -11,13,23,25...harmonická

2.3.2. Kolísání napětí (flickr)

Flickr se definuje jako rychlá změna napájecího napětí. Tento druh rušení je nejvíce znám, kvůli fyziologickým účinkům. Přenáší se z vyšší napětíové hladiny vlivem těžkého průmyslu a vzniká v síti nízkého napětí připojováním spotřebičů s rychle proměnným výkonem. Flickr narušuje zrakový vjem a tím i činnost člověka. Tyto změny jsou vyvolané rychlou změnou světelného toku. Mezní hodnoty již byly uvedeny v dřívější kapitole

2.3.2.1. Příčiny kolísání napětí (flickru)

Elektrický spotřebič, který najdeme v každé domácnosti, a je napájen z distribuční sítě je žárovka. Žárovka vyžaduje ke své funkci konstantní napájecí napětí. Připojí-li se odběratel s proměnlivým výkonem, způsobí měnící se úbytek napětí. Velikost změny napětí je poměr dvou po sobě následujících hodnot fázového napětí $U(t_1)$ a $U(t_2)$. Tyto hodnoty se musí změřit nebo vypočítat. Oko je nejcitlivější na frekvenci 10-20 Hz. Je-li rovnoměrná zátěž, pak se flickr zmenšuje ve směru toku síťového napětí.

$$\Delta U = U(t_1) - U(t_2) \quad (3)$$

Relativní změna napětí je dána vztahem:

$$d = \frac{\Delta U}{U_n} \quad (4)$$

Příčiny způsobující flickr -elektrické obloukové pece

- svářečky
- proměnlivá zátěž
- spínání velké zátěže
- spouštění velkých motorů

2.3.2.2.Snižování flickru

Ke zlepšení kvality elektrické energie ze strany odběratelů může dojít tím, že se vymění popřípadě opraví nevyhovující elektroinstalace, a dále se zvětší průřez středního vodiče. Takovéto snížení rušivého vlivu je nákladné po finanční stránce. K potlačení rušivých vlivů na straně distributora by bylo potřeba, aby mohl distributor definovat za jakých podmínek, a jaký spotřebič lze do sítě připojit a v jakou dobu. To však není v jeho působnosti.

2.3.3. Nesymetrie

Popis nesymetrie je uveden v předchozí kapitole o charakteristice napájecího napětí z distribuční soustavy.

Členění nesymetrie:

- Amplitudová - různé amplitudy v různých fázích
- Fázová - rozdíly fázových úhlů jsou odlišné
- Obecná - dochází-li k amplitudové i fázové nesymetrii

2.3.3.1. Příčiny nesymetrie

Nesymetrii napětí v trojfázové síti má za následek jednofázový spotřebič. Tento jev lze odstranit s minimálními náklady a poměrně snadno se mu lze zcela vyhnout. V trojfázové síti nn, je možno rozložit jednofázové spotřebiče tak, aby byla každá fáze vytížena rovnoměrně. Příným zdrojem nesymetrie jsou jednofázové přípojky.

U sítí vn a vvn je počet jednofázových spotřebičů malý, ale jejich připojovaný výkon je významný vzhledem k ostatním spotřebičům. Jsou to např. měnírny, jednofázová trakce a jednofázové elektrické pece.

2.3.3.2. Snížení nesymetrie napětí

Jak již bylo uvedeno zdrojem nesymetrie napětí jsou jednofázové spotřebiče. Z této podstaty vyplývá i způsob odstranění rušivých vlivů nesymetrie napětí. Řešením je rozdělení jednofázových spotřebičů, tak aby byly všechny fáze pokud možno stejně zatíženy .

Proces připojení nesymetrické zátěže do elektrizační soustavy.

- 1). Připojení v závislosti na zkratovém výkonu sítě
- 2). Připojení na základě individuálního vyhodnocení dohodnutého zapojení nesymetrických odběrů
- 3). Připojování za mimořádných okolností

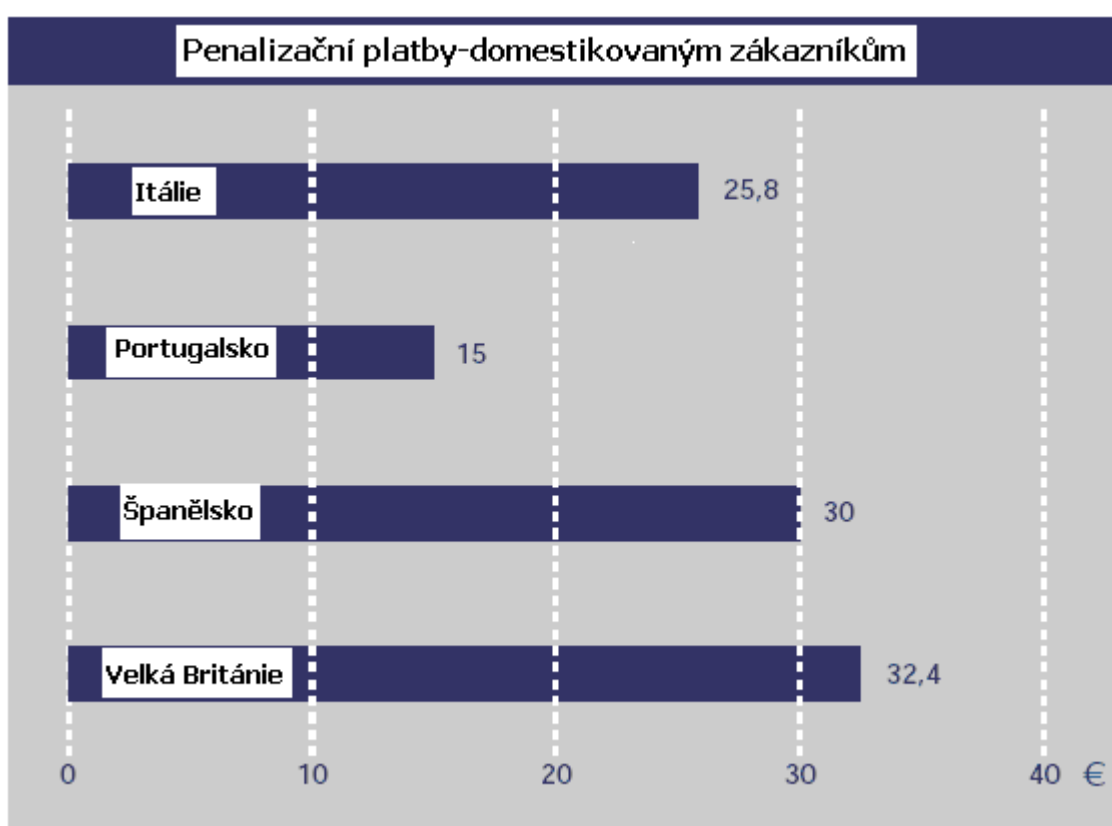
Členění je dle normy PNE 33 3430-3

2.3.1. Penalizační platby

Jak už je zmíněno v úvodu za nedodržení standardů kvality elektrické energie následují penalizační platby. Tyto platby mají následující hlavní funkce:

- Poskytnout zákazníkům nějakou kompenzaci, když distribuční společnosti nemohou poskytovat služby na požadované a předem stanovené (zaručené) úrovni.
- Poskytovat zákazníkům údaje o kvalitě služeb.(kvalita elektrické energie v dané lokalitě)
- Poskytovat penalizace za špatný výkon společností a dát pobídky k tomu, aby zlepšily kvalitu služeb.

Platby zákazníkům za nedodržení kvality dodávek elektrické energie se zaručenými úrovněmi se liší od země k zemi. Toto může být vidět v následujícím grafu, který ukazuje významný rozdíl mezi Portugalskem a dalšími zeměmi. Hodnoty jsou vyjádřené v Euru.



Obr. 1 Penalizační platby

V každé zemi jsou také různé přístupy k platbě trestů (tabulka 3). Pro Itálii, Španělsko a nějaké standardy ve Velké Británii, je platba automatická.

V Portugalsku, musí mít zákazníci nárok na platbu kompenzace, jestliže kvalita dodávek selhala. V Nizozemí, penalizační platby nejsou zatím definované.

Tab. 3. Penalizační platby

Penalizační platby	
Automatické	Itálie, Španělsko, Velká Británie
Žádané	Portugalsko, Velká Británie

3. Možnosti měření parametru kvality v distribučních sítích

Nezpochybnitelnou úlohu v každodenním životě činí elektrická energie, která je nezastupitelnou komoditou. Můžeme ji vyrábět z různých primárních zdrojů, takřka bezztrátově přenášet, a následně ji transformovat na jiné druhy energie (teplo, světlo, mechanický výkon atd.). Vyrobenou a přenášenou elektrickou energii je potřeba měřit, abychom mohli reagovat na aktuální stavy, které mohou v soustavě nastat. Použitím správných metod a měřících přístrojů snížíme ztráty rozvodných soustav a zvýšíme tím i hospodárnost elektráren. Měřením také ověřujeme, zda je kvalita elektrické energie ve stanovených mezích. V ideálním případě by uživatel elektřiny měl tento produkt dostávat v podobě, v jaké je pro něj v elektrárně vyroben, tj. jako třífázovou souměrnou napětíovou soustavu s konstantní amplitudou, konstantním kmitočtem a čistě sinusovým průběhem. Zodpovědnost za správnou kvalitu elektrické energie má dodavatel, jenž se musí zabývat správným monitorováním a následným vyhodnocením naměřených dat.

3.1 Hodnocení parametrů kvality

Postupy pro hodnocení a měření charakteristik napětí jsou definovány normou ČSN EN 61000 4-7 a také ČSN EN 50 160. Tyto normy definují požadavky na měřicí soupravy, které zaručují porovnatelnost a opakovatelnost měření [6].

Při měření charakteristik napětí je zapotřebí měřit a vyhodnocovat ta napětí, na která jsou připojovány odběry, tzn.:

- ve čtyřvodičových sítích nn napětí mezi fázemi a středním vodičem, příp. i napětí mezi fázemi
- v sítích vn sdružená napětí
- v sítích vvn sdružená napětí.

Za nedodržení standardů kvality elektrické energie se považují všechny stavy v distribuční soustavě, při kterých jsou překročeny dovozené meze dle předchozích norem. S výjimkou výjimečných stavů, na které nemá dodavatel vliv:

- nedostatek výkonu zaviněný vnějšími okolnostmi
- cizí zavinění
- živelné katastrofy
- cizí zavinění
- nařízení úřadů
- průmyslová činnost (stávky v rámci zákona)

3.2 Požadavky kladené na měřicí přístroje kvality elektrické energie

Měření kvality elektrické energie se provádí prostřednictvím síťových analyzátorů. Jmenované měřicí přístroje byly speciálně navrženy pro měření v elektrických sítích. Měří časový průběh napětí a proudů a následně zpracovává podle standardů platných pro měření jednotlivých rušivých vlivů, z nichž základní pro tuto oblast jsou [6] :

- harmonické a mezharmónické (v souladu s ČSN EN 61000-4-7)
- kolísání napětí – blikání (v souladu s ČSN EN 61000-4-15)
- kvalita elektřiny komplexně (v souladu s ČSN EN 50160)

V síťovém analyzátoru je sdružen monitoring všech rušivých vlivů vyskytujících se na rozhraní a dodávky a spotřeby elektrické energie.

Analýzátor kvality napětí musí být schopen současně měřit tyto parametry v trojfázové síti:

- kmitočet sítě
- velikost napájecího napětí a jeho odchylky
- rychlé změny napětí
- flikr
- poklesy a zvýšení napájecího napětí
- přerušení napájecího napětí
- nesymetrie napětí
- harmonické napětí
- mezipharmonické napětí
- signály v napájecím napětí.

Kromě těchto parametrů kvality musí analyzátor umožňovat měření velikosti proudů a z nich odvozených (podle přiřazených napětí) i dalších veličin:

- činný výkon
- zdánlivý výkon
- jalový výkon
- zpětnou složku proudu a její úhlový vztah k referenčnímu napětí (nebo výkon)
- harmonické proudy a jejich úhlový vztah k referenčnímu napětí (nebo výkon).

3.3 Měřicí intervaly

Definované měřicí intervaly podle ČSN EN 61000-4-30 (33 3432): jsou:

velmi krátký čas: 3 s
 krátký čas: 10 minut
 dlouhý čas: 2 hodiny.

Pro různé metody měření jsou požadovány tyto časové intervaly:

- pro síťovou frekvenci: 10 s
- pro flikr: 10 minut a 2 hodiny
- pro velikost napájecího napětí, harmonická/mezipharmonická napětí a nesymetrii: 3 s, 10 minut a 2 hodiny
- pro signály po síti: 3 s a 10 minut [6].

3.4 Časová agregace měření

Agregace měření je stanovena pro harmonické, mezipharmonické, nesymetrii a velikosti napětí.

Časové intervaly agregace jsou: [6]

- 10 cyklů (pro jmenovitých 50 Hz)
- 150 cyklů (pro jmenovitých 50 Hz); tento interval se nazývá "velmi krátký čas"
- 10 minut; tento interval se nazývá "krátký čas"
- 2 hodiny; tento interval se nazývá "dlouhý čas".

Všechny agregace jsou vytvořeny z druhé odmocniny součtu druhých mocnin vstupních hodnot.

$$Cn_{VS} = \sqrt{\frac{\sum_{k=i}^M C_{n,K}^2}{M}} \quad (5)$$

,kde M je počet jednotlivých vypočtených hodnot harmonických Cn_{VS} po celou dobu intervalu T.

Data pro interval 150 cyklů musí být agregována z přesně patnácti intervalů 10 cyklů.

Každý 10 minutový interval musí začínat na 10 minutové hranici reálného času. Data pro interval 10 minut musí být agregována ze všech dostupných 150 cyklových intervalů během 10 minutového intervalu.

Uživatel může volit, zda zahrnout nebo vyloučit označená data z následující hladiny agregace. Pokud je některá hodnota označena příznakem nebo vyloučena z následující hladiny agregace, pak musí být označena i tato hladina.

Každý 2. hodinový interval musí začínat na dvouhodinové hranici reálného času. Data pro 2 hodinový interval musí být agregována z přesně dvanácti 10 minutových intervalů.

3.5 Zkoušky přesnosti měřících přístrojů

Tab. 4 Zkoušky přesnosti měřících přístrojů

Ovlivňující veličina	Zkušební stav 1	Zkušební stav 2	Zkušební stav 3	Tolerance
Frekvence	50 Hz	49 nebo 59 Hz	51 nebo 61 Hz	$\pm 0,5$ Hz
Velikost napětí	U_n	Určený flikrem, nesymetrií, harmonickými, mezipharmonickými viz níže	Určený flikrem, nesymetrií, harmonickými, mezipharmonickými viz níže	$\pm 1 \% U_n$
Flikr	žádný	Pst = 1, pravoúhlá modulace 2,275 Hz	Pst = 4 pravoúhlá modulace 8,8 Hz	0,1
Nesymetrie	žádná	0,73 U_n fáze A 0,80 U_n fáze B 0,87 U_n fáze C všechny úhly 120° (nesymetrie 5 %)	1,52 U_n fáze A 1,4 U_n fáze B 1,28 U_n fáze C všechny úhly 120° (nesymetrie 5 %)	0,5 %
Harmonické	žádné	10% U_n 3. h. při 0° 5% U_n 5. h. při 0° 5% U_n 29. h. při 0°	10% U_n 7. h. při 180° 5% U_n 13. h. při 0° 5% U_n 25. h. při 0°	3 % U_n
Mezipharmonické	žádné	1% U_n při 7,5nás. zákl. harm.	1% U_n při 1,8nás. zákl. harm.3	1 % U_n

Přesnost přístrojů musí být ověřována pro každou měřenou veličinu následujícím způsobem:

- volba ověřované měřené veličiny (např. efektivní hodnota napětí)
- při udržování ostatních veličin ve zkušebním stavu 1 se ověřuje měřená veličina v pěti bodech rovnoměrně rozmístěných v pracovním rozsahu (např. 60 % U_n , 95 % U_n , 130 % U_n , 165 % U_n , 200 % U_n)
- při udržování ostatních veličin ve zkušebním stavu 2 se zkouška opakuje
- při udržování ostatních veličin ve zkušebním stavu 3 se zkouška opakuje.

3.6 Měřicí přístroje kvality elektrické energie

V dnešní době se používají nejmodernější prostředky k měření kvality elektrické energie. Tuto možnost měření poskytují síťové analyzátory. Analyzátory jsou vybaveny bohatým příslušenstvím a umožňují svému uživateli vysoký luxus nejen při samotném měření, ale také při vyhodnocování naměřených dat, jak už bylo uvedeno dříve. Síťový analyzátor lze řešit jako stavebnicový systém

K měření se používají například tyto prostředky: Analyzátor sítí BK-ELCOM v provedení ENA440
ENA571
ENA600

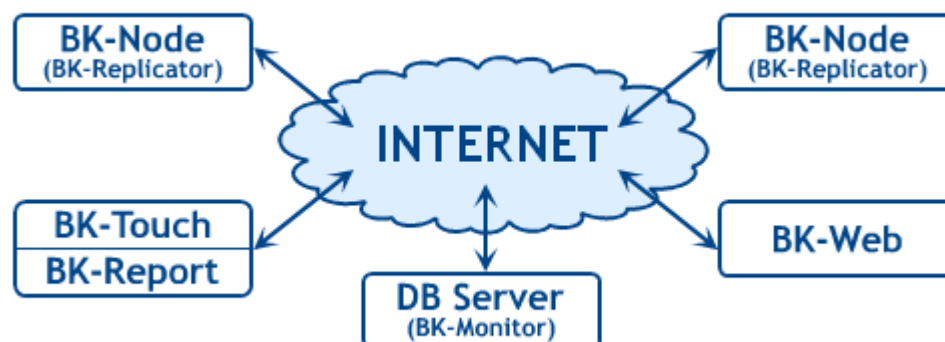
Analyzátor Fluke 434

Analyzátor TOPAS 2000

Síťové analyzátory se od sebe odlišují technickým provedením, účelem použití, softwarovým vybavením, třídou přesnosti atd. a v neposlední řadě cenou, která bude hrát u mnohých uživatelů velkou roli.

3.6.1. Systém monitoringu kvality elektřiny BK Elcom

Řešení monitoringu kvalitativních parametrů elektřiny umožňuje dokumentovat a analyzovat kvalitu elektřiny ve vybraných místech rozvodné soustavy. Měření získané údaje jsou z jednotlivých míst měření přenášeny na centrální datový server. Přístup k těmto datům je možný z libovolného počítače prostřednictvím standardního prohlížeče www stránek. Uživatel si může v rámci prohlídky vybírat data z libovolného místa.



Obr. 2 Schéma systému BK-Elcom

BK-Measure - Monitor kvalitativních parametrů elektřiny

Tato měřicí část systému obsahuje sadu modulů pro vyhodnocování elektrických veličin. V panelu je zobrazována i aktuální efektivní hodnota napětí a proudu, výkony a úhel mezi napětím a proudem v každé fázi pro zvolenou harmonickou.

BK-Post - Zpracování naměřených dat

Část systému, která slouží pro zobrazení, porovnání, zpracování, tisk protokolů a export dat naměřených z částí BK-Measure.

BK-Replicator - Replikace dat na centrální datový server

Kvůli důležitosti a množství dat, která je potřeba ukládat, byl jako centrální úložiště zvolen SQL server, který umožňuje vytváření a spravování velkých relačních databází.

Na straně analyzátoru jsou mechanismy, které umožňují ukládat naměřená data do centrálního úložiště, a tyto data následně zpracovávat a zobrazovat pomocí standardního internetového prohlížeče

BK-Web - Zpracování naměřených dat na internetu

Data z jednotlivých míst měření jsou ukládána na centrální datový server do SQL databáze. Uživatel tedy může z libovolného počítače pomocí www stránek prohlížet naměřená data. Na centrálním datovém serveru jsou generovány www stránky s požadovanou podobou protokolu z měření.

BK-Remote - Dálková správa analyzátorů

Analyzátory kvality elektřiny mohou být centrálně on-line spravovány a monitorovány pomocí aplikace BK-Remote. Tento systém jim dovoluje dálkově (zastavovat, konfigurovat, spouštět), prohlížet naměřená data a zpracovávat je v podobě protokolů. K dostupnosti dat může uživatel využít internet nebo telefonní linky.

3.6.2. Síťové analyzátory

Analyzátory kvality elektrické energie jsou dnes nabízeny v různých hardwarových podobách, buď jako stacionární, nebo jako přenosné měřicí přístroje. Celková koncepce těchto analyzátorů je řešena tak, aby umožňovala flexibilně reagovat na požadavky zákazníku a měnicí se normy ČSN a EN.

Bez zásahu do hardwarové podoby si lze zkombinovat analyzátor s takovými funkcemi, jaké zákazník potřebuje. Například je to:

- monitor výkonů a energií
- osciloskop
- vektorskop
- měřič blikání
- monitor napětí podle normy ČSN EN 50160
- transientní zapisovač
- analyzátor signálu HDO
- analyzátor symetrických složek sítě
- analyzátor impedance sítě
- monitor alarmů
- monitor efektivní hodnoty napětí za půlperiodu

3.6.2.1. Analyzátor sítě BK Elcom

Provedení ENA440 [8]

Tento model se skládá s PC v kompaktním provedení a z měřicí karty. Je určen pro trvalou instalaci do rozvaděče. Analyzátor disponuje všemi komunikačními rozhraními (RS 232, USB, VGA, Ethernet).

Model EN 440 se stal vítězem výběrového řízení na dodávku trvale instalovaných analyzátorů kvality pro předávací místa PS/DS v rámci celé společnosti ČEZ Distribuce, a.s. a E. ON Česká republika, a.s. Analyzátor ENA440 splňuje požadavky normy ČSN EN 61000-4-30 pro přístroj třídy A. [8]



Obr. 3 ENA440

Provedení PNA571

Síťový analyzátor je umístěn v odolném plastovém kufříku. PNA571 je určen pro měření v terénu což mu umožňuje jeho robustná konstrukce. Je vybaven bateriovým zdrojem, který mu umožňuje provoz po dobu cca 2 hodin. Dotyková obrazovka umožňuje snadné ovládání. Rovněž lze za pomoci Ethenetu na notesku dálkově spravovat tento analyzátor. [8]



Obr. 4 PNA571

Provedení PNA600

Tento typ PNA600 je velmi kompaktní a jeho hloubka je cca 6 cm. Má velkou odolnost po stránce mechanické i elektrické (krytí IP65 nebo IP42 dle výkonu procesoru). Je vhodný k instalaci na rozvodnách. Lze ho ovládat prostřednictvím externího dotykového displeje nebo dálkově spravovat prostřednictvím notebooku či PC. [8]



Obr. 5 PNA600.

3.6.2.2. FLUKE 434 analyzátor sítě

Je analyzátor kvality elektrické energie. Tento třífázový analyzátor pomáhá lokalizovat, předvídat a odstraňovat problémy v elektrické síti.

Výhodou tohoto analyzátoru je, že měří všechny energetické parametry: napětí, proud, výkon (W, VA, VAr), energii (Wh, VAh, VArh), vyvážení, flicker, harmonické složky do 50, interharmonické, poklesy, překmity, přechodové jevy přerušení a rychlé změny napětí.



Obr. 6 FLUKE 434

AutoTrend je funkce, jenž automaticky zaznamenává na pozadí všechny zobrazované parametry. Systémový monitor poskytuje okamžitý obraz o kvalitě měřené sítě a kontroluje, zda měřené parametry v dané síti vyhovují limitům normy ČSN EN 50160, případně lze nastavit své vlastní limity. Je vybaven 4. kanály pro měření napětí i proud na všech třech fázích i na středním vodiči ve stejnou dobu.

Zachycuje až 40 poklesů, překmitů, zarušení nebo přechodů. Je mechanicky odolný a zároveň přenosný a pracuje až 7 hodin na bateriový zdroj. Naměřené data lze přenést do PC a zpracovat v softwaru FlukeView.

Vyhovují standardům měření dle IEC 61000-4-30.

Fluke 434 je analyzátor kvality elektrické energie třídy B.

3.6.2.4. Analyzátor TOPAS 2000

Topas 2000 je efektivním nástrojem pro kompletní vyhodnocení parametrů kvality v sítích nn, vn a vvn. Vyhodnocuje kvalitu elektrické energie v souladu s IEC 61000 - 4 - 30 a odpovídá třídě přesnosti A.



Obr. 7 TOPAS 2000

- Spouštěcí algoritmy a výkonné 10MHz vzorkování umožní uživateli konfigurovat Topas 2000 pro prakticky každou aplikaci.
- S 10 MHz vzorkováním a zachycením až 6000 Vpk dostanete detailní obraz nejkratších událostí.
- Je vyroben v odolném provedení bez otočných součástí. Krytí IP50 umožní spolehlivé použití při téměř jakýchkoliv podmínkách
- Online mód dovoluje ověření správného nastavení před spuštěním dlouhodobého záznamu měření.
- Topas 2000 je vybaven náhradním zdrojem a tak nedojde během výpadku ke ztrátě důležitých dat.

4. Vyhodnocení měření zvolených parametrů kvality na různých napěťových hladinách

Vyhodnocení naměřených a zvolených parametrů je přirozenou a důležitou fází procesu objasnění kvalitativní stránky elektrické energie.

Analyzováním dat tedy rozumíme správné naměření, následné zpracování a vyhodnocení.

Z provedených měření jsem zvolil 1 týden pro vyhodnocení dle normy ČSN EN 50 160. Monitorování kvality elektrické energie bylo prováděno ve zvolených napěťových hladinách distribuční soustavy od nízkého napětí (nn), přes vysoké napětí (vn) až po velmi vysoké napětí (vvn).

Místa, na kterých bylo prováděno měření, jsou zvolena záměrně, jelikož do těchto oblastí distribuční soustavy dodávají elektrickou energii obnovitelné zdroje.

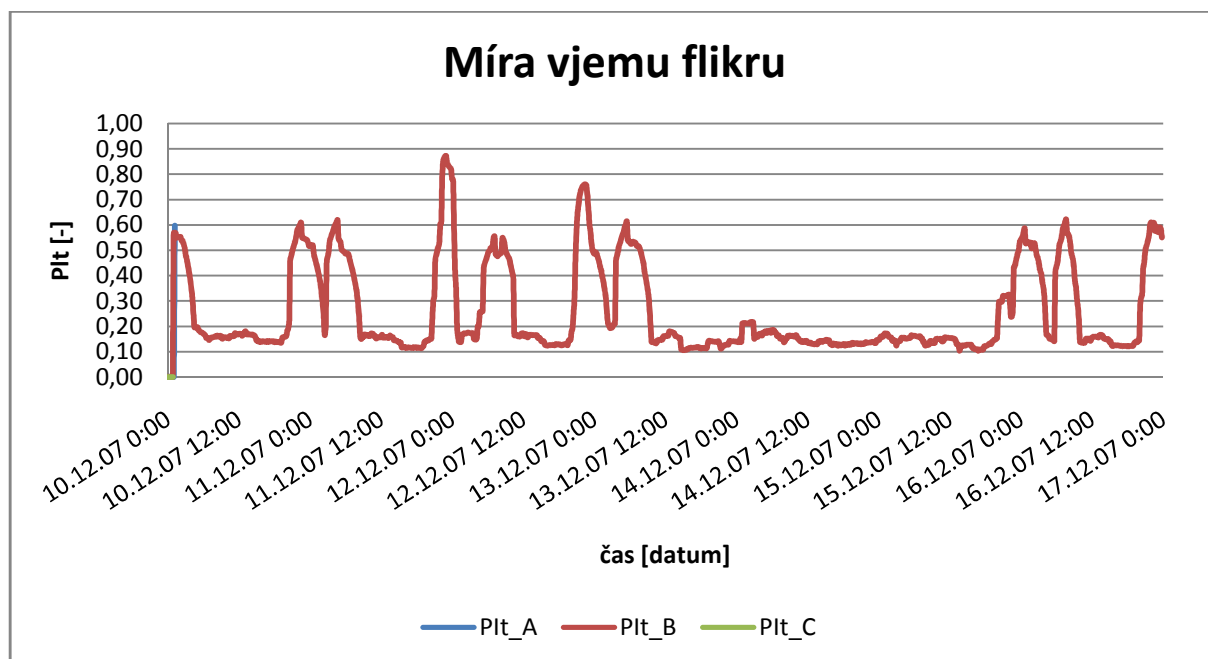
Získaná data je možno zpracovat prostřednictvím programu BK-Post, který je dodáván se síťovým analyzátozem a v diplomové práci je již zmíněn. Z důvodu charakteru dat je však nejvhodnější k doplňkovému zpracování užít tzv. tabulkové procesory (MS Excel). Mimo běžného užití lze tento program využít pro grafickou prezentaci, jako databázi, nebo jen k běžným tabulkovým výpočtům.

4.1. Popis vybrané lokality a zvoleného parametru elektrické energie na hladině nn

První popisovanou lokalitou distribuční soustavy je oblast na severozápadě naší republiky, do které je připojena malá vodní elektrárna. Tento obnovitelný zdroj je v provozu od roku 1990. Plný výkon tohoto zdroje je 28 kW. V současné době nejede turbína na plný výkon.

Měření bylo provedeno v roce 2007 v týdenním intervalu od 10. prosince do 17. prosince.

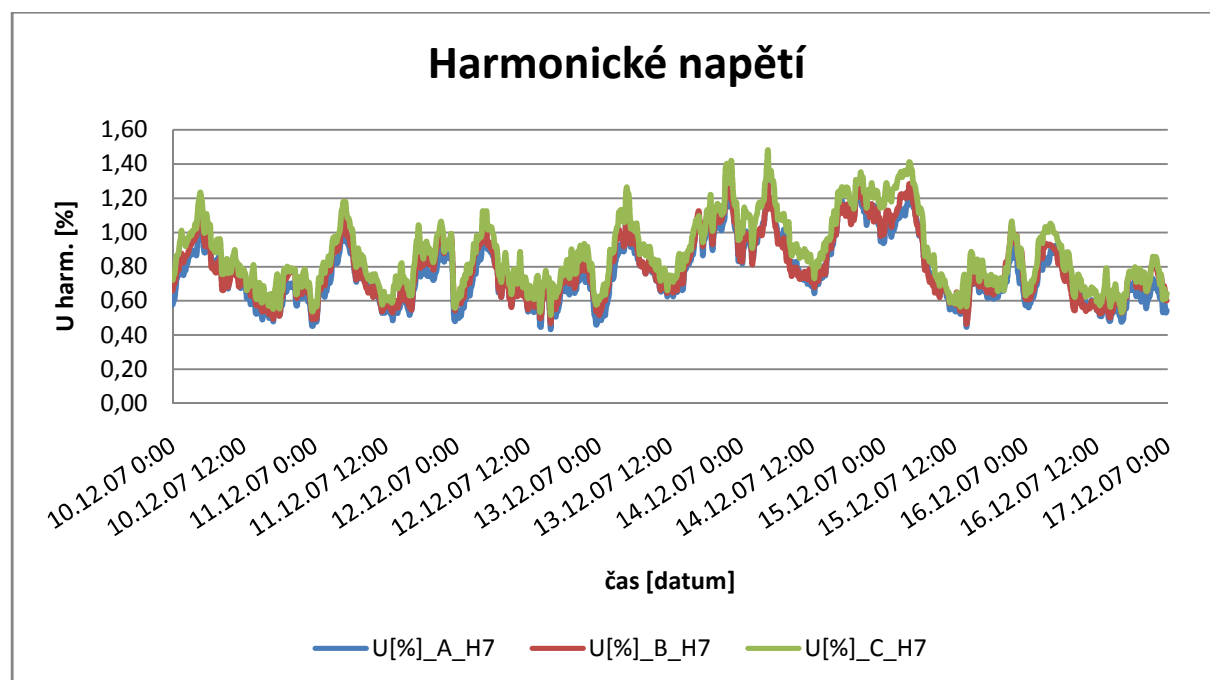
Míra vjemu flikru



Obr.8 Míra flikru na (nn)

Za normálních provozních podmínek musí být po dobu 95% času, v libovolném týdenním intervalu dlouhodobá míra vjemu flikru $Plt \leq 1$. Hodnocená oblast splnila předepsané hodnoty pro dlouhodobou míru vjemu flikru. Maximální hodnoty, kterou flicker dosáhl, byla 0,85 a 95% hodnoty byli ve fázi A=0,60; B=0,59 a C=0,64.

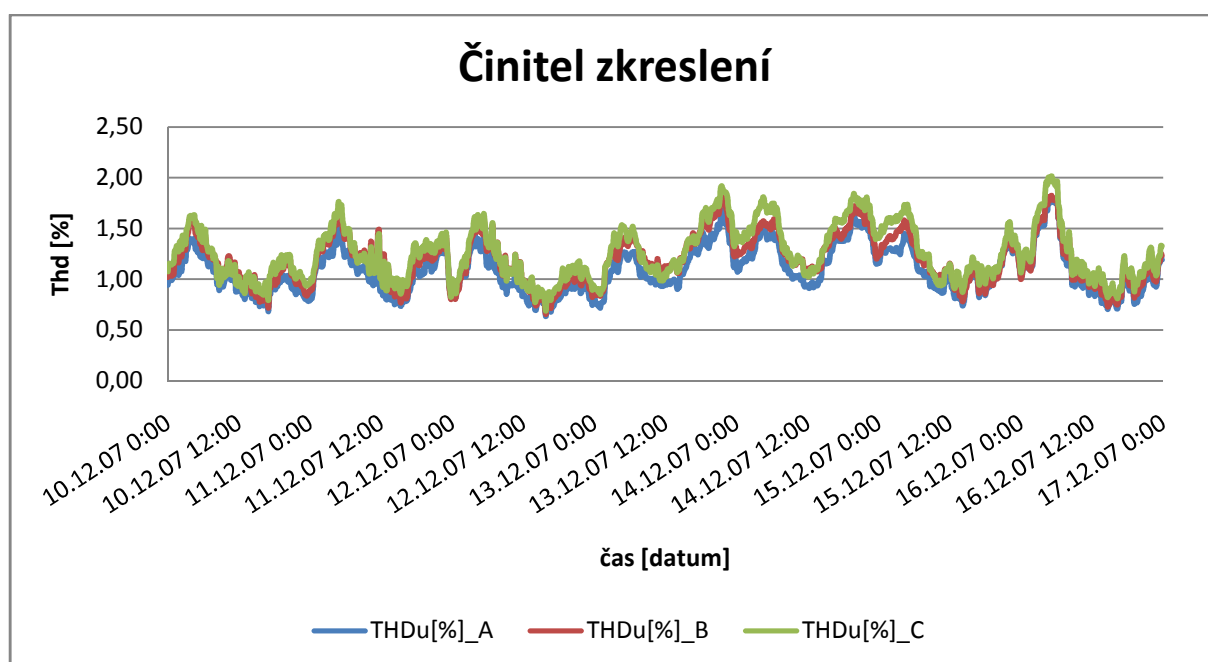
Harmonické napětí na nn



Obr.9 Harmonické napětí na (nn)

Vyhodnocení je provedeno na základních lichých harmonických napětích od 3. po 11 harmonickou. Z důvodu přehlednosti a velkého počtu 95% hodnot harmonických je vytvořena tabulka 3; Největší hodnoty je dosaženo v 7. harmonické základního kmitočtu napětí. Nejmenší pak v 9. harmonické základního kmitočtu napětí.

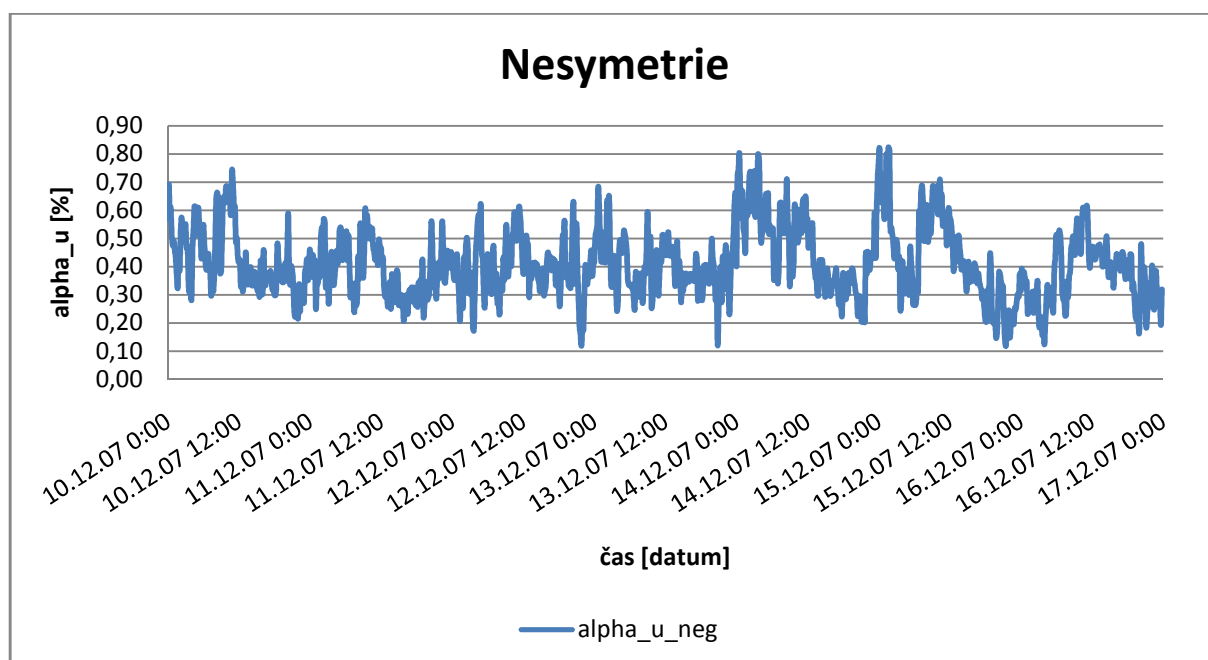
Číselník zkreslení Thd



Obr.10 Činitel zkreslení na (nn)

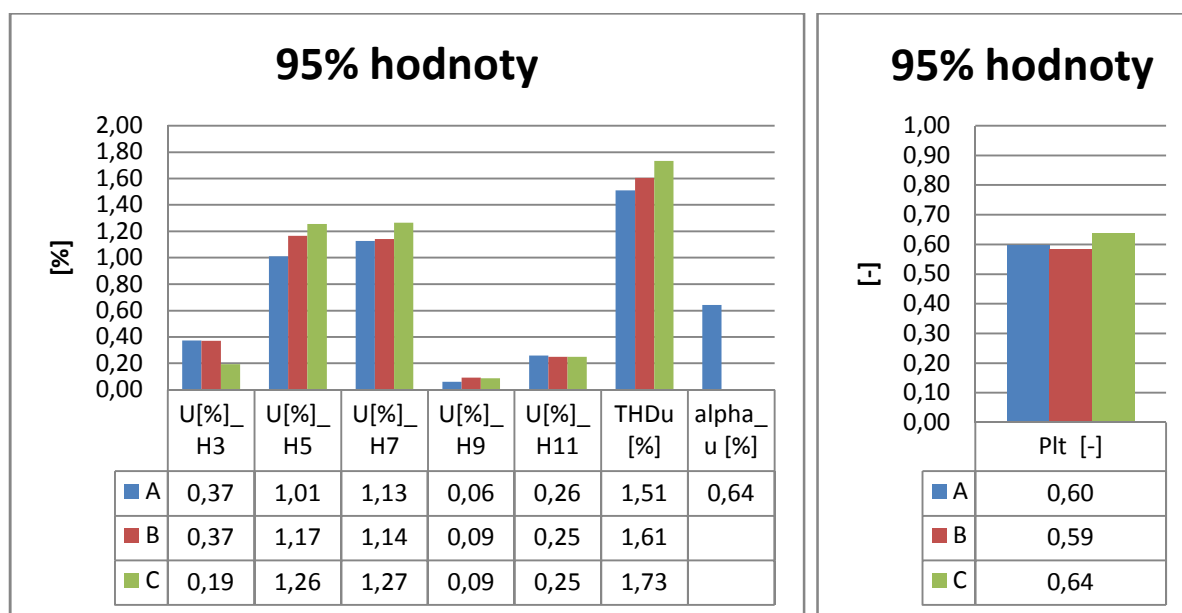
V libovolném týdenním období za normálních provozních podmínek musí být střední efektivní hodnota napětí činitele zkreslení $\leq 8\%$. Maximální hodnoty bylo dosaženo v třetí fázi a dosáhla hodnoty 1,93%, 95% hodnoty jsou ve fázi A=1,51%; B=1,61% a C=1,73%. Jak je z uvedených mezí vidět sledovaná lokalita vyhověla.

Nesymetrie



Obr.11 Nesymetrie na (nn)

Za běžných provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95% hodnot v 10. minutových středních efektivních hodnot zpětné složky napětí v rozsahu 0-2% sousledné složky. Zde bylo dosaženo maximální hodnoty 0,82 sousledné složky. 95% hodnota je 0,64%.

95% hodnoty

Obr. 12 95% hodnoty harmonických napětí, činitele zkreslení, nesymetrie a míry vjemu flikru na (nn)

95% hodnoty jsou rozděleny do dvou grafů z důvodu přehlednosti jednotlivými parametry kvality elektrické energie.

Tab. 5 Souhrn 95 % hodnot zvolených a posuzovaných hodnot na hladině (nn)

Harmonické					
Řád harmonické	Harmonické napětí v [%]	Jednotka	Fáze	95%hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
3	5	[%]	A	0,37	splňuje normu
			B	0,37	splňuje normu
			C	0,19	splňuje normu
5	6		A	1,01	splňuje normu
			B	1,17	splňuje normu
			C	1,26	splňuje normu
7	5		A	1,13	splňuje normu
			B	1,14	splňuje normu
			C	1,27	splňuje normu
9	1,5		A	0,06	splňuje normu
			B	0,09	splňuje normu
			C	0,09	splňuje normu
11	3,5		A	0,26	splňuje normu
			B	0,25	splňuje normu
			C	0,25	splňuje normu

Činitel zkreslení					
	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	Fáze	95% hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
Thd	≤8%	[%]	A	1,51	splňuje normu
			B	1,61	splňuje normu
			C	1,73	splňuje normu
Míra vjemu dlouhodobého flikru					
	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	Fáze	95% hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
Plt	≤1	[-]	A	0,60	splňuje normu
			B	0,59	splňuje normu
			C	0,64	splňuje normu
Nesymetrie					
	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	95% hodnoty		Norma ČSN EN 50 160
alpha u	0-2	[%]	0,64		splňuje normu

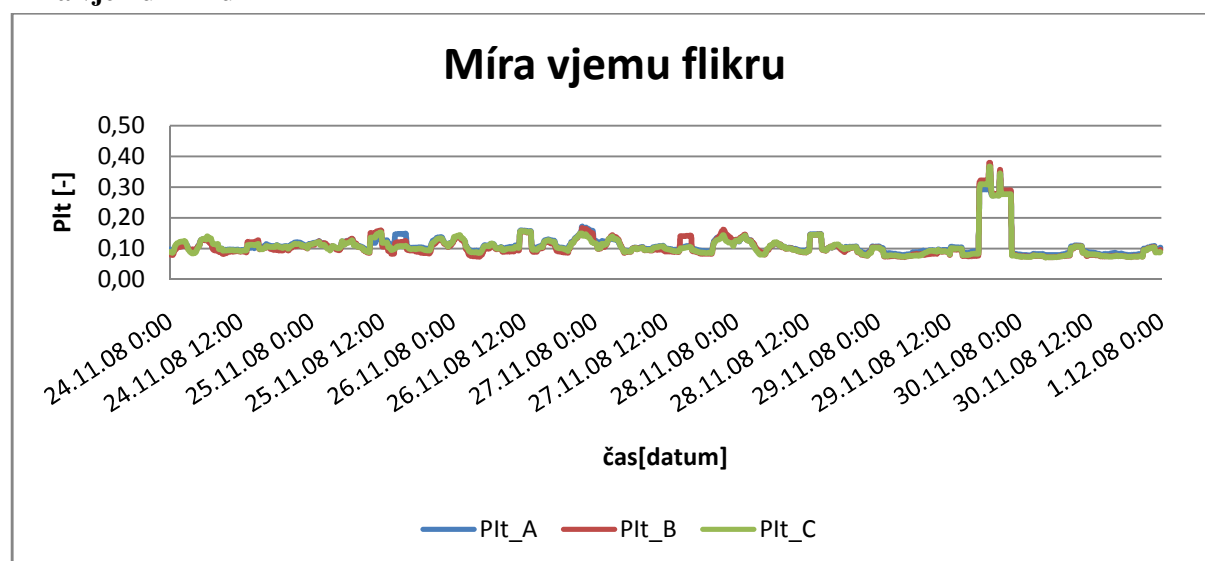
Jak je z uvedené tabulky patrné žádná z uvedených hodnot na hladině (nn) nepřekročila limit daný normou ČSN EN 50 160. 95% hodnoty se nacházejí, až v tabulce z důvodu lepší přehlednosti.

4.2. Popis vybrané lokality a zvoleného parametru elektrické energie na hladině vn

Druhou popisovanou lokalitou je oblast na jihu naší vlasti, do které je připojena fotovoltaická elektrárna. Tento obnovitelný zdroj elektrické energie dodává do distribuční sítě svůj výkon od roku 2008. Tato elektrárna má instalovaný výkon 261 kW.

Měření bylo provedeno v roce 2008 v týdenním intervalu od 24.listopadu do 1.prosince.

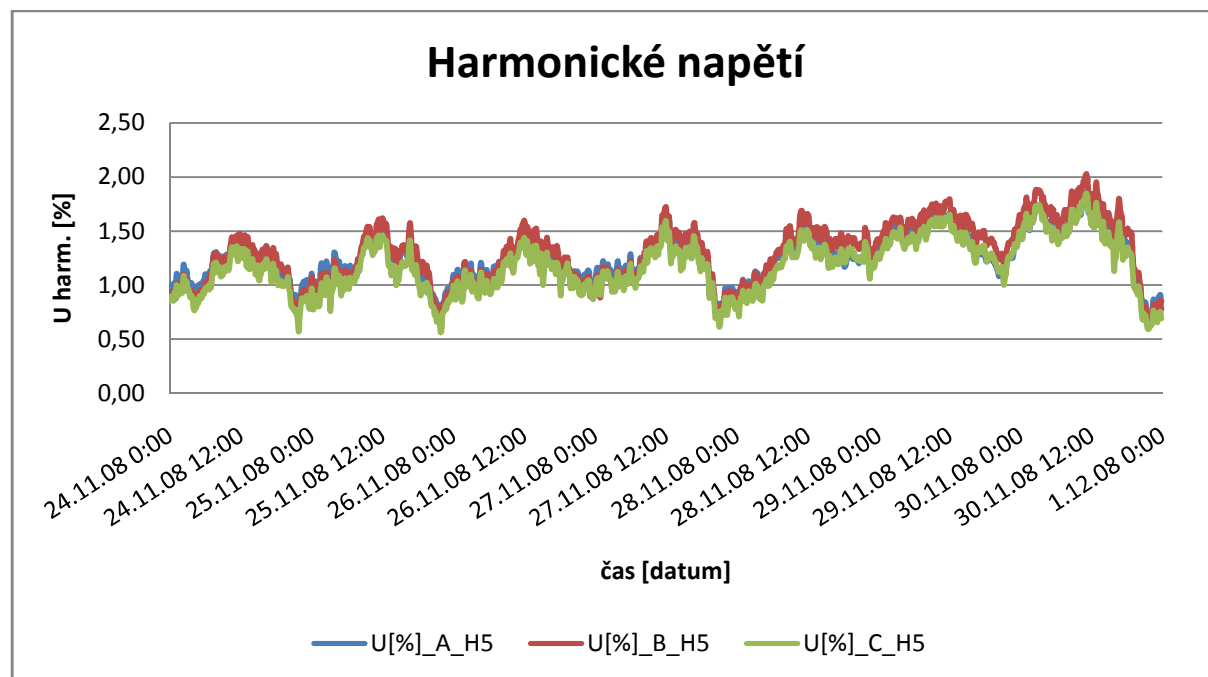
Míra vjemu flikru



Obr.13 Míra vjemu flikru na (vn)

Za normálních provozních podmínek musí být po 95 % času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flikru $Plt \leq 1$. Tato lokalita z hlediska dlouhodobého flikru vyhovuje. Největší hodnoty, které dosáhla, byla 0,38. 95% hodnoty Plt vyhověli stanoveným mezím a jsou těchto hodnot, ve fázi A=0,16; B=0,16 a C=0,15.

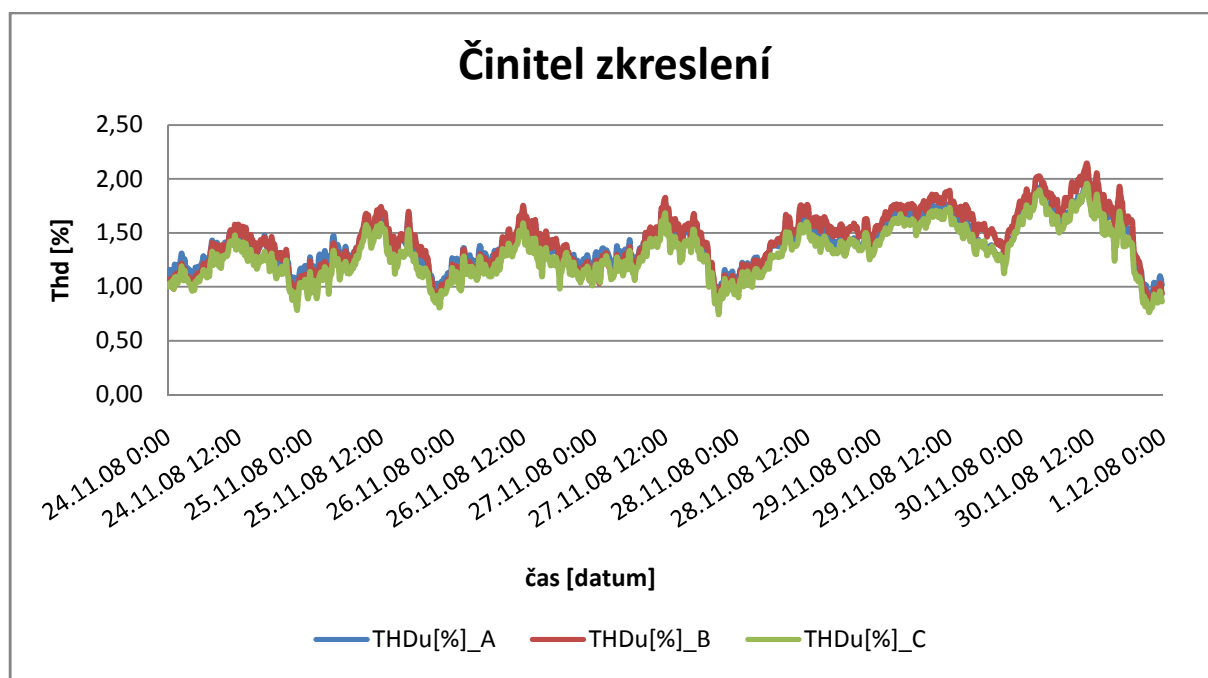
Harmonické napětí



Obr.14 Harmonické na (vn)

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v tabulce 6. Pro lepší přehlednost je na obr. 14. vynesena jen nejvýraznější 5. harmonická napětí.

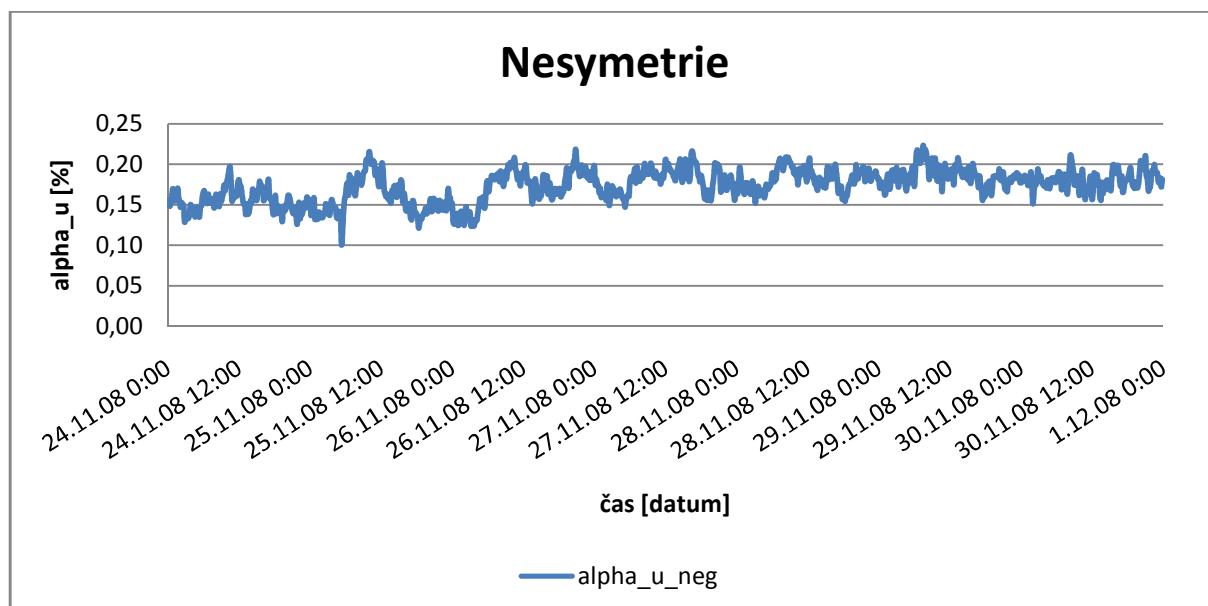
Činitel zkreslení



Obr. 15. Činitel zkreslení na (vn)

V libovolném týdenním období za normálních provozních podmínek musí být střední efektivní hodnota napětí činitele zkreslení $\leq 8\%$. Maximální hodnoty bylo dosaženo v třetí fázi a dosáhla hodnoty 2,9 %. Pozorovaná lokalita vyhověla, protože 95% hodnoty jsou ve fázi A=1,75%; B=1,86% a C=1,70%.

Nesymetrie

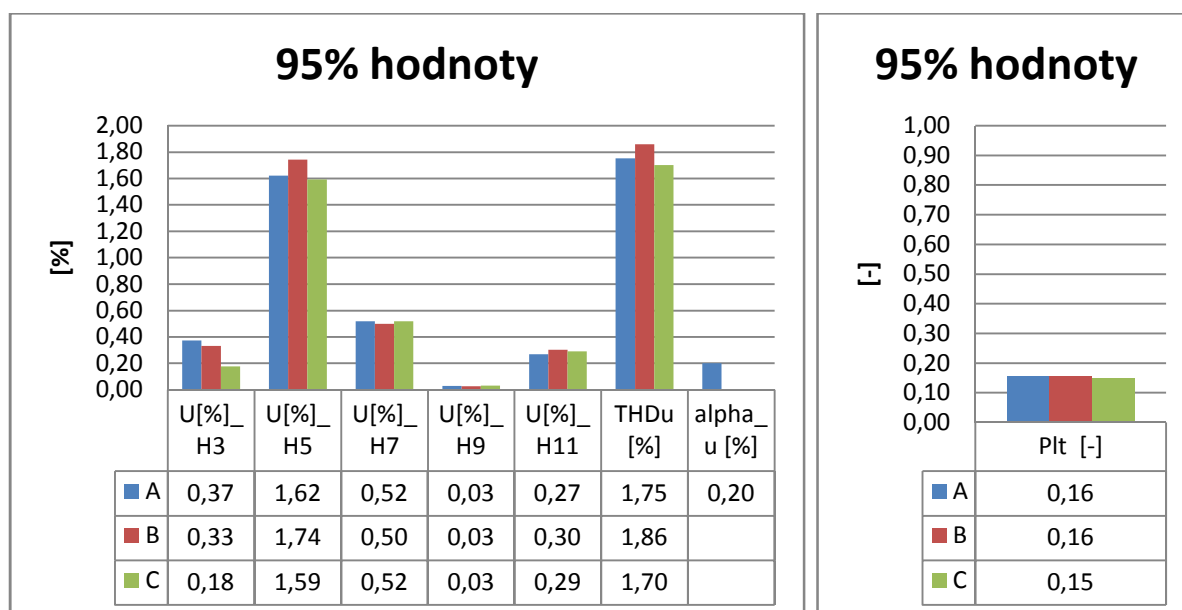


Obr. 16. Nesymetrie na (vn)

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 % až 2 % sousledné složky.

Na této sledované hladině je maximální hodnota 0,22 sousledné složky. 95% hodnoty splnila povolenou mez a dosáhla hodnoty 0,20%.

95% hodnoty



Obr. 17 95% hodnoty harmonických napětí, činitele zkreslení, nesymetrie a míry vjemu flikru na (vn)

95% hodnoty jsou rozděleny do dvou grafů z důvodu přehlednosti jednotlivými parametry kvality elektrické energie.

Tab. 6 Souhrn 95 % hodnot zvolených a posuzovaných hodnot na hladině (vn)

Harmonické					
Řád harmonické	Harmonické napětí v [%]	Jednotka	Fáze	95%hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
3	5	[%]	A	0,37	splňuje normu
			B	0,33	splňuje normu
			C	0,18	splňuje normu
5	6		A	1,62	splňuje normu
			B	1,74	splňuje normu
			C	1,59	splňuje normu
7	5		A	0,52	splňuje normu
			B	0,50	splňuje normu
			C	0,52	splňuje normu
9	1,5		A	0,03	splňuje normu
			B	0,03	splňuje normu
			C	0,03	splňuje normu
11	3,5		A	0,27	splňuje normu
			B	0,30	splňuje normu
			C	0,29	splňuje normu

Činitel zkreslení					
	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	Fáze	95% hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
Thd	≤8%	[%]	A	1,75	splňuje normu
			B	1,86	splňuje normu
			C	1,70	splňuje normu
Míra vjemu dlouhodobého flikru					
	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	Fáze	95% hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
Plt	≤1	[-]	A	0,16	splňuje normu
			B	0,16	splňuje normu
			C	0,15	splňuje normu
Nesymetrie					
	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	95% hodnoty		Norma ČSN EN 50 160
alpha u	0-2	[%]	0,20		splňuje normu

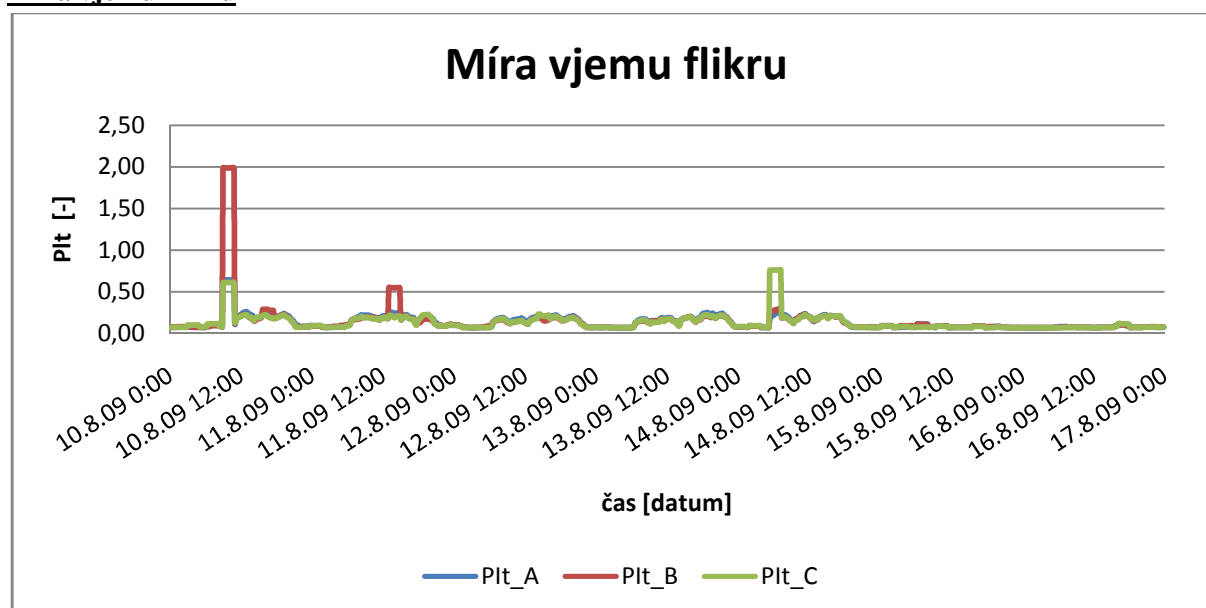
Jak je z uvedené tabulky patrné žádná z uvedených hodnot na hladině (vn) nepřekročila limit daný normou ČSN 50 160. 95% hodnoty zvolených parametrů kvality jsou vypsány, až v tabulce z důvodu lepší přehlednosti.

4.3. Popis vybrané lokality a zvoleného parametru elektrické energie na hladině vvn

Třetí hodnocenou oblastí distribuční soustavy je oblast na severu naší republiky, do které je připojena větrná elektrárna. Zmíněný obnovitelný zdroj je v provozu od roku 2009. Instalovaný výkon je 18 MW.

Sledování bylo provedeno v roce 2009 v týdenním intervalu od 10. srpna do 17. srpna.

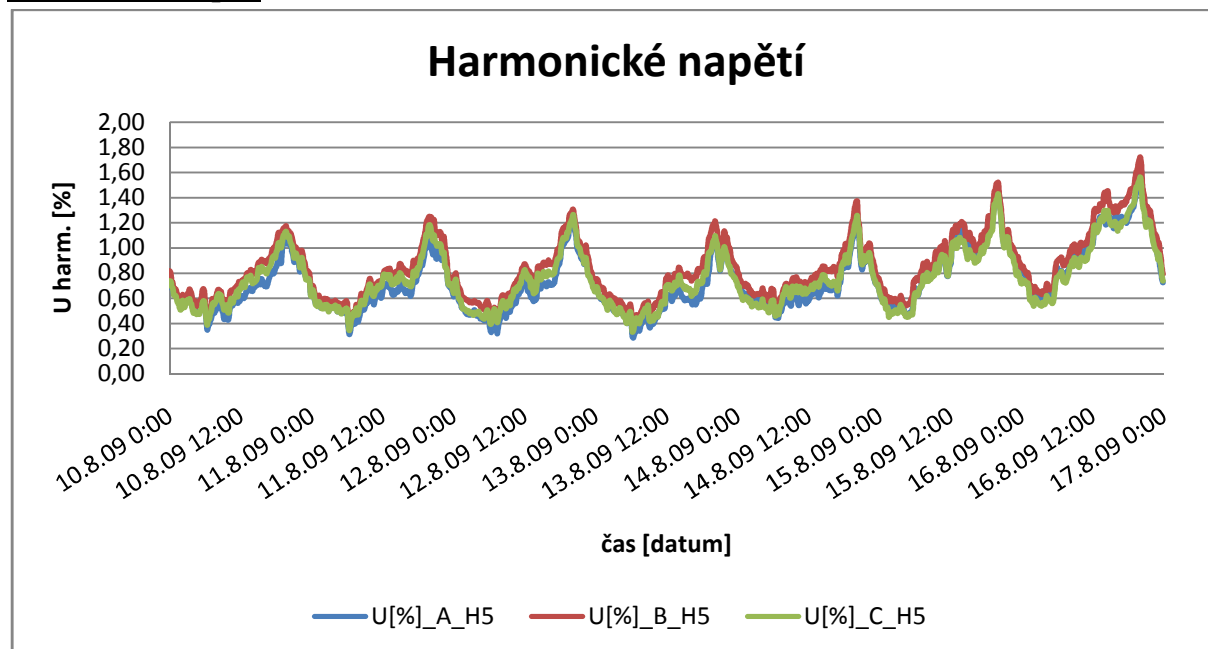
Míra vjemu flikru



Obr. 18 Míra vjemu flikru na (vvn)

Za normálních provozních podmínek musí být během každého týdne dlouhodobá míra vjemu flikru Plt v 95 % sledovaných intervalů v mezích $Plt \leq 0,6$. Zmíněná lokalita daný parametr splňuje, maximální hodnoty je $Plt=1,99$. 95% hodnoty bylo ve fázích dosaženo takto $A=0,23$; $B=0,23$; $C=0,22$.

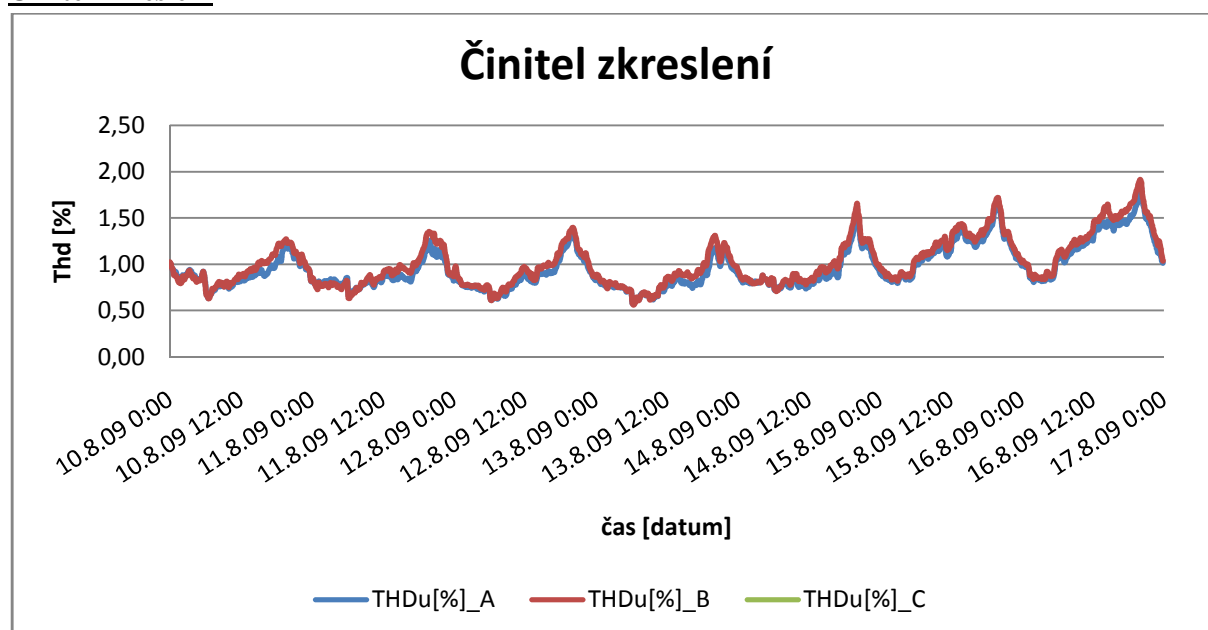
Harmonické napětí



Obr. 19 Harmonické na (vvv)

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v tabulce 5. Z důvodu lepší přehlednosti je vynesena jen největší 5. harmonická napětí.

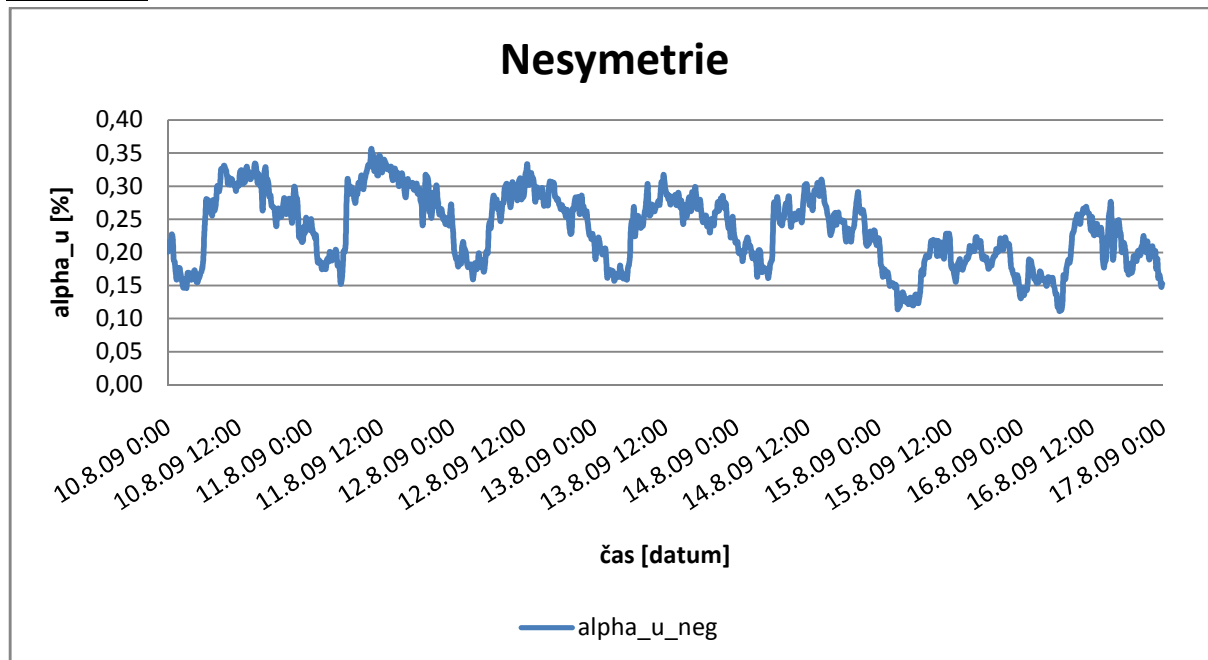
Činitel zkreslení



Obr. 20 Činitel zkreslení na (vvv)

V běžném týdenním období za normálních provozních podmínek musí být střední efektivní hodnota napětí činitele zkreslení $\leq 2,5\%$. Maximální hodnoty bylo dosaženo ve druhé fázi a dosáhla hodnoty 1,89 %, 95% hodnota je ve fázi A=1,43%; B=1,53%; C=1,47%. Meze byli splněni a pozorovaná lokalita vyhověla.

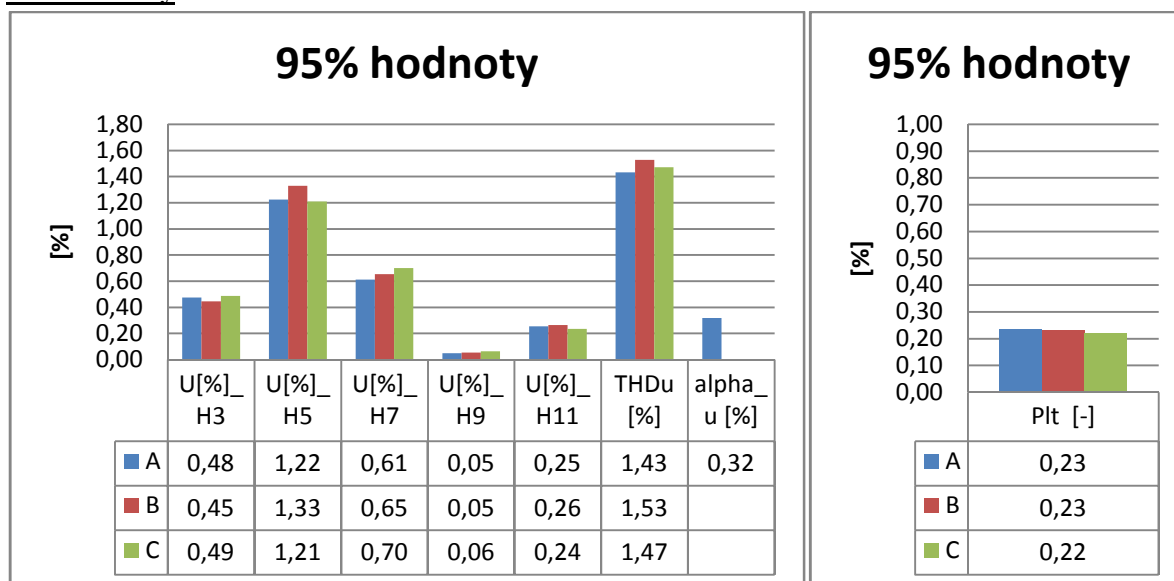
Nesymetrie



Obr. 21 nesymetrie na (vvn)

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95% 10. minutových středních efektivních hodnot zpětné složky napětí menší než 1,5% sousledné složky. Zde bylo dosaženo maximální hodnoty 0,36 sousledné složky a 95% hodnota je 0,32%.

95% hodnoty



Obr. 22 95% hodnoty harmonických napětí, činitele zkreslení, nesymetrie a míry vjemu flikru na (vvn)

95% hodnoty jsou rozděleny do dvou grafů z důvodu přehlednosti jednotlivými parametry kvality elektrické energie.

Tab. 7 Souhrn 95 % hodnot zvolených a posuzovaných hodnot na hladině (vvn)

Harmonické					
Řád harmonické	Max. amplituda harmonické uh [% Un]	Jednotka	Fáze	95%hodnoty	PPDS příloho 3.
3	2	[%]	A	0,48	splňuje normu
			B	0,45	splňuje normu
			C	0,49	splňuje normu
5			A	1,22	splňuje normu
			B	1,33	splňuje normu
			C	1,21	splňuje normu
7			A	0,61	splňuje normu
			B	0,65	splňuje normu
			C	0,7	splňuje normu
9			A	0,05	splňuje normu
			B	0,05	splňuje normu
			C	0,06	splňuje normu
11			A	0,25	splňuje normu
			B	0,26	splňuje normu
			C	0,24	splňuje normu
Činitel zkreslení					
	Mez dle PPDS	jednotka	Fáze	95% hodnoty	PPDS příloho 3.
Thd	≤2,5%	[%]	A	1,43	splňuje normu
			B	1,53	splňuje normu
			C	1,47	splňuje normu
Míra vjemu dlouhodobého flikru					
	Mez dle PPDS	jednotka	Fáze	95% hodnoty	PPDS příloho 3.
Plt	≤0,6	[-]	A	0,23	splňuje normu
			B	0,23	splňuje normu
			C	0,22	splňuje normu
Nesymetrie					
	Mez dle PPDS	jednotka	95% hodnoty		PPDS příloho 3.
alpha_u_neg	<1,5 %	[%]	0,32		splňuje normu

Z vyhotovené tabulky je jednoznačně patrné, že hodnoty na hladině (vvn) vyhověli a nepřekročili požadované limity parametrů kvality elektrické energie, které jsou pouze definovány v PPDS příloha 3. (Pravidla provozování distribuční soustavy). Norma ČSN EN 50 160 nemá uvedené mezní hodnoty pro hladinu velmi vysokého napětí.

5. Srovnání výsledků na jednotlivých napětových hladinách

V následující kapitole bude provedeno srovnání parametrů kvality elektrické energie z údajů získaných naměřením na jednotlivých napětových hladinách distribuční soustavy

Monitorování kvality elektrické energie bylo prováděno na mnoha místech distribuční soustavy od roku 2007 do roku 2009. Ze získaných měření je hodnocen vždy 1. týden po 10. minutových intervalech dle normy ČSN EN 50 160.

Z důvodu podobnosti 95% hodnot v jednotlivých fázích napětí jsem vynášel do tabulek střední hodnotu. ZO je zkratka pro zásobovanou oblast. Celkem je zde hodnoceno 32 míst distribuční soustavy. Na hadině (vvn) je hodnoceno pouze 1. Místo.

5.1. Obnovitelné zdroje připojených do vybraných částí distribuční soustavy

Tab. 8. Druhy obnovitelných zdrojů připojených do vybraných částí distribuční soustavy

Obnovitelné zdroje		
Lokalita	Druh obnovitelného zdroje	Instalovaný výkon
		[MW]
ZO1	Fotovoltaická elektrárna	0,004
ZO2	Fotovoltaická elektrárna	0,012
ZO3	Fotovoltaická elektrárna	0,004
ZO4	Fotovoltaická elektrárna	0,800
ZO5	Fotovoltaická elektrárna	0,113
ZO6	Malá vodní elektrárna	0,800
ZO7	Fotovoltaická elektrárna	0,032
ZO8	Malá vodní elektrárna	0,055
ZO9	Fotovoltaická elektrárna	0,250
ZO10	Fotovoltaická elektrárna	0,280
ZO11	Fotovoltaická elektrárna	0,160
ZO12	Fotovoltaická elektrárna	0,002
ZO13	Malá vodní elektrárna	0,270
ZO14	Fotovoltaická elektrárna	0,028
ZO15	Malá vodní elektrárna	0,037
ZO16	Bioplynový zdroj	0,140
ZO17	Bioplynový zdroj	0,536
ZO18	Fotovoltaická elektrárna	0,049
ZO19	Malá vodní elektrárna	0,116
ZO20	Malá vodní elektrárna	0,594
ZO21	Malá vodní elektrárna	0,013
ZO22	Malá vodní elektrárna	0,758
ZO23	Bioplynový zdroj	1,000
ZO24	Bioplynový zdroj	1,100

Lokalita	Druh obnovitelného zdroje	Instalovaný výkon [MW]
ZO25	Malá vodní elektrárna	3,140
ZO26	Malá vodní elektrárna	2,600
ZO27	Malá vodní elektrárna	1,310
ZO28	Malá vodní elektrárna	1,960
ZO29	Fotovoltaická elektrárna	1,100
ZO30	Fotovoltaická elektrárna	2,000
ZO31	Malá vodní elektrárna	2,800
ZO32	Větrná elektrárna	18,000

V tabulce jsou uvedeny jednotlivé obnovitelné zdroje elektrické energie, které jsou připojeny do vybraných částí distribuční soustavy.

Začlenění větrných a fotovoltaických elektráren do elektroenergetické soustavy způsobuje nové neplánované odchylky a elektrizační soustavu je potřeba regulovat tak, aby byla v každém okamžiku zachována rovnováha spotřeby a výroby elektrické energie

Obtížná predikovatelnost a volatilita výroby elektřiny z větrné i sluneční energie zvyšuje nároky na rezervaci regulačního výkonu pro podpůrné služby. Důsledkem je pak nárůst nákladů a zdražování systémových služeb pro konečného zákazníka. [7]

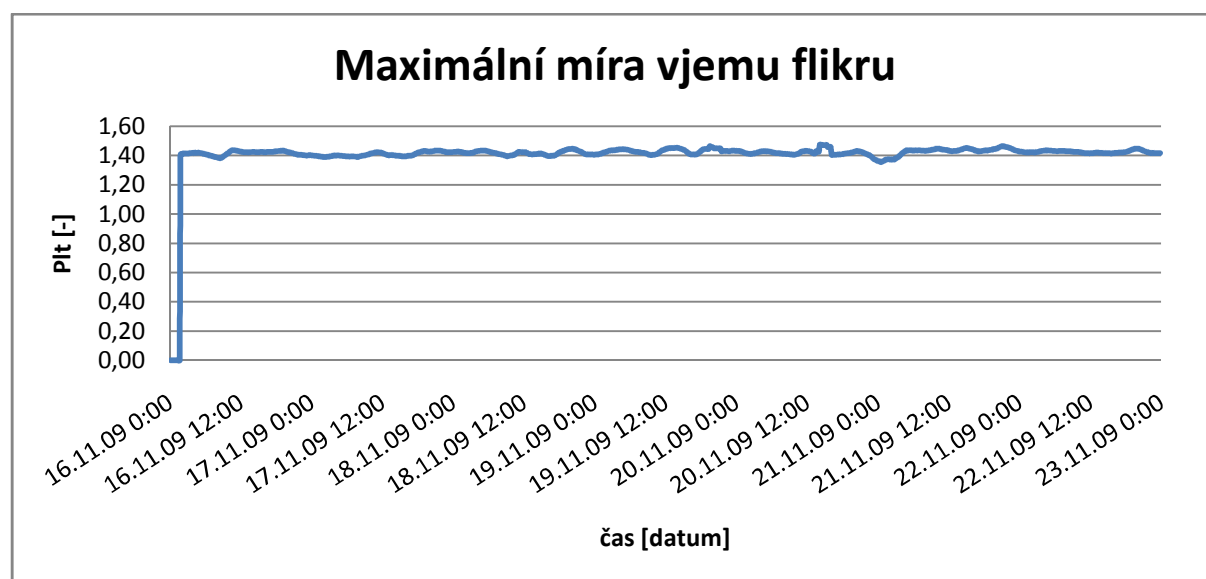
5.2. Srovnání výsledků dlouhodobé míry vjemu flikru na (nn, vn, vvn)

Tab. 9. Srovnání výsledku míry vjemu flikru na (nn, vn, vvn)

Míra vjemu flikru na nn				
Lokalita	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	95% hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
ZO1	≤1	[%]	0,14	splňuje normu
ZO2			0,30	splňuje normu
ZO3			0,58	splňuje normu
ZO4			0,14	splňuje normu
ZO5			1,29	nesplňuje normu
ZO6			0,32	splňuje normu
ZO7			0,18	splňuje normu
ZO8			0,27	splňuje normu
ZO9			0,22	splňuje normu
ZO10			1,09	nesplňuje normu
ZO11			1,07	nesplňuje normu
ZO12			0,15	splňuje normu
ZO13			1,00	splňuje normu
ZO14			0,22	splňuje normu
ZO15			1,45	nesplňuje normu
ZO16			0,74	splňuje normu
ZO17			0,22	splňuje normu

Míra vjemu flikru na nn				
Lokalita	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	95% hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
Z018	≤1	[%]	0,67	splňuje normu
Z019			0,80	splňuje normu
Z020			0,89	splňuje normu
Z021			0,73	splňuje normu
Míra vjemu flikru na vn				
Z022	≤1	[%]	0,16	splňuje normu
Z023			0,22	splňuje normu
Z024			0,15	splňuje normu
Z025			0,19	splňuje normu
Z026			0,36	splňuje normu
Z027			0,27	splňuje normu
Z028			0,20	splňuje normu
Z029			0,26	splňuje normu
Z030			0,53	splňuje normu
Z031			0,53	splňuje normu
Míra vjemu dlouhodobého flikru na vvn				
	Mez dle PPDS příloha 3.	jednotka	95% hodnoty	PPDS příloho 3.
Z032	≤0,6	[-]	0,23	splňuje stanovenou mez

Dlouhodobá míra vjemu flikru byla překročena na čtyřech místech distribuční soustavy na hladině nn. Příčin pro navýšení nad povolenou mez dle ČSN EN 50 160 dlouhodobé míry vjemu flikru, může být hned několik. Toto překročení mohlo způsobit spouštění velkých motorů, velké zátěže, proměnlivé zátěže, elektrické obloukové pece či svářečky. Možnost jak tomu přecházet je již v diplomové práci zmíněna. Z tabulky 9. je vidět jak se zvětšující se napětovou hladinou klesá hodnota Plt.



Obr.23 Maximální míra vjemu flikru na (nn)

Na obr. 23 je vykreslen průběh maximální střední hodnoty míry vjemu flikru. Dlouhodobá míra vjemu flikru je na lokalitě ZO 15. překročena o 1,5. násobek než povoluje limit. Tato a další 3. posuzované oblasti na hladině nízkého napětí nevyhověli a je potřeba provést potřebné kroky k nápravě.

5.3. Srovnání výsledků harmonických napětí na (nn, vn, vvn)

Tab. 10. Srovnání výsledků harmonických napětí na (nn, vn, vvn)

Harmonické na nn					
Lokalita	Řád harmonické	Harmonické napětí v [%]	Jednotka	95%hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
ZO1	5	6	[%]	1,51	splňuje normu
ZO2	7	5		1,80	splňuje normu
ZO3	5	6		1,20	splňuje normu
ZO4				1,82	splňuje normu
ZO5				1,05	splňuje normu
ZO6				1,72	splňuje normu
ZO7				1,19	splňuje normu
ZO8				1,19	splňuje normu
ZO9				1,31	splňuje normu
ZO10				7	5
ZO11	5	6		0,96	splňuje normu
ZO12				1,80	splňuje normu
ZO13				2,79	splňuje normu
ZO14				1,19	splňuje normu
ZO15				1,28	splňuje normu
ZO16				1,91	splňuje normu
ZO17				1,28	splňuje normu
ZO18				1,78	splňuje normu
ZO19				1,93	splňuje normu
ZO20				2,21	splňuje normu
ZO21				1,69	splňuje normu
Harmonické na vn					
ZO22	5	6	[%]	1,22	splňuje normu
ZO23				1,08	splňuje normu
ZO24				1,51	splňuje normu
ZO25				3,51	splňuje normu
ZO26				1,43	splňuje normu
ZO27				1,77	splňuje normu
ZO28	7	5		1,60	splňuje normu
ZO29	5	6		1,78	splňuje normu
ZO30				1,72	splňuje normu
ZO31				1,02	splňuje normu

Harmonické na vvn					
	Řád harmonické	Max. amplituda harmonické uh [% Un]	Jednotka	95% hodnoty	PPDS příloha 3.
ZO32	5	2	[%]	1,25	splňuje stanovenou mez

Velikosti 95% hodnot harmonických napětí v tab. 10. splňuje stanovenou mez dle normy ČSN 50 160 a PPDS . Nejvýraznější harmonickou byla 5. a 7. harmonická základního kmitočtu napětí. Největší hodnoty, které harmonická napětí dosáhly na hladinách distribuční soustavy jsou tyto, na ($nn_{5, \text{harmonická}}=2,79\%$), ($vn_{5, \text{harmonická}}=6,51\%$) a ($vvn_{5, \text{harmonická}}=1,25\%$). Příčiny harmonických napětí základního kmitočtu jsou popsány v kapitole „Kvalita napětí“ i s možností jak jim zabránit a předcházet.

5.4. Srovnání výsledků činitele zkreslení na (nn, vn, vvn)

Tab. 11. Srovnání výsledků činitele zkreslení na (nn, vn, vvn)

Činitel zkreslení na nn				
Lokalita	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	95% hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
ZO1	$\leq 8\%$	[%]	1,94	splňuje normu
ZO2			2,36	splňuje normu
ZO3			1,61	splňuje normu
ZO4			1,95	splňuje normu
ZO5			1,33	splňuje normu
ZO6			2,05	splňuje normu
ZO7			1,58	splňuje normu
ZO8			2,00	splňuje normu
ZO9			1,57	splňuje normu
ZO10			1,65	splňuje normu
ZO11			1,57	splňuje normu
ZO12			1,94	splňuje normu
ZO13			3,50	splňuje normu
ZO14			1,66	splňuje normu
ZO15			2,10	splňuje normu
ZO16			2,16	splňuje normu
ZO17			1,52	splňuje normu
ZO18			2,01	splňuje normu
ZO19			2,25	splňuje normu
ZO20			3,41	splňuje normu
ZO21			1,95	splňuje normu

Činitel zkreslení na vn				
Lokalita	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	95% hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
ZO22	≤8%	[%]	1,32	splňuje normu
ZO23			1,25	splňuje normu
ZO24			2,09	splňuje normu
ZO25			3,74	splňuje normu
ZO26			1,57	splňuje normu
ZO27			2,22	splňuje normu
ZO28			2,00	splňuje normu
ZO29			1,13	splňuje normu
ZO30			2,16	splňuje normu
ZO31			1,27	splňuje normu
Činitel zkreslení na vvn				
	Mez dle PPDS příloha 3.	jednotka	95% hodnoty	PPDS příloho 3.
ZO32	≤2,5%	[%]	1,48	splňuje stanovenou mez

Ze srovnání jednotlivých hodnot parametru Thd na jednotlivých napěťových hladinách distribuční soustavy je patrné, že kvalita napětí je v těchto oblastech udržována ve stanovených mezích. Největší 95% hodnoty $Thd=3,74\%$ bylo dosaženo v hodnocené oblasti ZO25 na hladině napětí vn.

5.5. Srovnání výsledků nesymetrie na (nn, vn, vvn)

Tab. 12. Srovnání výsledků nesymetrie na (nn, vn, vvn)

Nesymetrie na nn				
Lokalita	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	95% hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
ZO1	0-2	[%]	0,36	splňuje normu
ZO2			0,59	splňuje normu
ZO3			0,95	splňuje normu
ZO4			0,45	splňuje normu
ZO5			0,56	splňuje normu
ZO6			0,3	splňuje normu
ZO7			0,27	splňuje normu
ZO8			0,21	splňuje normu
ZO9			0,25	splňuje normu
ZO10			0,45	splňuje normu
ZO11			0,29	splňuje normu
ZO12			0,22	splňuje normu
ZO13			0,3	splňuje normu
ZO14			0,22	splňuje normu
ZO15			0,14	splňuje normu

Nesymetrie na nn				
Lokalita	Mez dle ČSN EN 50 160	jednotka	95% hodnoty	Norma ČSN EN 50 160
ZO16	0-2	[%]	0,39	splňuje normu
ZO17			0,09	splňuje normu
ZO18			0,52	splňuje normu
ZO19			0,36	splňuje normu
ZO20			0,7	splňuje normu
ZO21			0,51	splňuje normu
Nesymetrie na vn				
ZO22	0-2	[%]	0,45	splňuje normu
ZO23			0,17	splňuje normu
ZO24			0,34	splňuje normu
ZO25			0,33	splňuje normu
ZO26			0,34	splňuje normu
ZO27			0,68	splňuje normu
ZO28			0,31	splňuje normu
ZO29			0,28	splňuje normu
ZO30			1,58	splňuje normu
ZO31			1,58	splňuje normu
Nesymetrie na vvn				
	Mez dle PPDS příloha 3.	jednotka	95% hodnoty	PPDS příloho 3.
ZO32	<1,5 %	[%]	0,32	splňuje stanovenou mez

Uvažovali jsme hodnotu pouze zpětné složky, protože tato složka je rozhodující pro možné rušení spotřebičů připojených do sítě. Jak již bylo uvedeno zdrojem nesymetrie napětí jsou jednofázové spotřebiče. Z této podstaty vyplývá i možnost jak se nesymetrii vyhnout. Nejbližší se povolené mezi přiblížila oblast ZO30 a ZO 31 na hladině napětí vn. Na distribuční hladině napětí nn žádná s hodnot nepřekročila ani 1%. Z vyhovujících mezi je evidentní, že všechny oblasti splnili stanovené meze kvality napětí.

Závěr

Hlavním úkolem této diplomové práce bylo analyzovat problematiku vybraných parametrů kvality elektrické energie na různých napěťových hladinách distribuční soustavy.

První část této práce je zaměřena na rozbor problematiky kvality elektrické energie. Nejprve jsou zde popsány standarty kvality elektrické energie a následné kompenzace při jejich porušení. U obecných standartů zatím nejsou výše kompenzací definovány, ale lze očekávat, že národní regulační úřad ERU bude k této problematice přistupovat s náležitou vážností a v budoucnu se dočkáme řešení. Součástí první kapitoly je rovněž charakteristika napětí dodávaného z distribuční soustavy podle normy ČSN EN 50 160 a PPDS. Další problematikou jsou rušivé vlivy působící na parametry kvality napětí s možnostmi, jak tyto negativní účinky omezit, ba je dokonce zcela zrušit.

Navazující část diplomové práce je zaměřena na problematiku měření kvalitativní stránky elektrické energie v distribučních sítích. Popsány byly též požadavky kladené na síťové analyzátoři a monitoring kvality elektřiny BK-Elcom.

Aktuální energetická politika Evropské unie směřuje k maximálnímu možnému využití energie z obnovitelných zdrojů. V České republice jsou do elektrické sítě zapojeny tyto obnovitelné zdroje, malé vodní elektrárny, elektrárny na biomasu, větrné elektrárny a fotovoltaické elektrárny. Zmíněné zdroje mají své určité specifické vlastnosti, jež jsou dány jejich potřebami k výrobě elektrické energie. Obnovitelné zdroje energie dodávající do distribuční soustavy elektrickou energii a mohou svou činností negativně ovlivnit její provoz. Fotonvoltaické elektrárny mají velké odchylky okamžitého výkonu způsobené změnou oblačnosti. U větrných elektráren je zase okamžitý výkon dán aktuální rychlostí větru. Za zcela bezproblémové lze označit elektrárny spalující biomasu. Největší zastoupení v rámci obnovitelných zdrojů na území České republiky mají malé vodní elektrárny.

Praktická část je zaměřena na vyhodnocení naměřených dat. Tyto informace byly naměřeny na 32. zvolených místech distribuční soustavy, do kterých jsou připojeny obnovitelné zdroje energie. Posuzované data pocházejí z let 2007-2009. Vyhodnocovány byly liché (3,5,7,9 a 11) harmonické základního kmitočtu, míra dlouhodobého vjemu flikru Plt, činitel harmonického zkreslení Thd, nesymetrie napětí.

Podle srovnaných hodnot parametrů kvality elektrické energie lze vyvodit následující závěry. Dlouhodobá míra vjemu flikru byla překročena na čtyřech místech distribuční soustavy na hladině nízkého napětí, přičemž největší hodnoty bylo dosaženo v oblasti do které je připojena malá vodní elektrárna (ZO15). Míra činitele harmonického zkreslení a nesymetrie napětí je na vybraných lokalitách udržovaná soudobě ve stanovených mezích. Úroveň harmonických dosáhla svých nejvyšších hodnot v páté a sedmé harmonické na hladině nízkého napětí. S nárůstem velikosti napětí docházelo k mírnému zlepšení 95% hodnot harmonických napětí.

Kvalitativní stránka elektřiny má v dnešním tržním prostředí své nezastupitelné místo. Souvisí to s liberalizací trhu s elektrickou energií a vzniku problémů či škod při nedodržení parametrů kvality elektřiny. Uživatel elektrické energie by měl tuto komoditu dostávat v podobě, v jaké je pro něj v elektrárně vyrobena.

V distribuční soustavě působí proti tomuto ideálu mnoho rušivých vlivů, které mají za následek problémy v procesu přenosu a užití elektrické energie. Viníky jsou především spotřebiče s nesinusovým průběhem odebíraného proudu a poruchové jevy. Pro odhalení vzniklých problémů je potřeba do budoucna klást veliký důraz na měření parametrů kvality elektřiny v distribuční soustavě. Vývoj měřicí techniky jde neustále dopředu, a proto lze očekávat značný vývoj i v oblasti měření elektrických veličin. Nové a moderní přístroje jsou rychlejší, přesnější a dokážou nahradit hned

několik měřících přístrojů najednou. Nezpochybnitelným faktem, který bude tlačit vývoj síťových analyzátorů kupředu, je stále přísnější požadavek na kvalitu napětí od odběratelů.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1]. ČSN EN 50 160: Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční Sítě. Český normalizační institut, červen 2000.
- [2]. ERÚ: Vyhláška č. 540/2005 Sb. Ze dne 30. 12. 2005 o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Praha 2005
- [3] Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). Praha, 2000.
- [4]. ERÚ: Vyhláška č. 306/2001 Sb. ze dne 20. 8. 2001 o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, Praha 2001
- [5] ČSN EN 61000-2-2 (33 3432): Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 2-2: Prostředí – Kompatibilní úrovně pro nízkofrekvenční rušení šířené vedením a signály ve veřejných rozvodných sítích nízkého napětí
- [6] PŘÍLOHA 3 PPDS: Kvalita elektřiny v distribučních soustavách

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [7] www.eru.cz
- [8] www.elcom.cz